

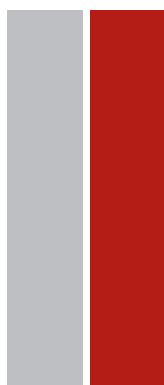
MESTRADO EM DESIGN INDUSTRIAL E DE PRODUTO

Desenvolvimento de um novo material baseado em desperdícios de rocha natural

Filipe Moreira



2018



MESTRADO EM DESIGN INDUSTRIAL E DE PRODUTO
UNIVERSIDADE DO PORTO

O JÚRI

PRESIDENTE

Doutor Rui Mendonça

PROFESSOR AUXILIAR DA FACULDADE DE BELAS ARTES DA UNIVERSIDADE DO PORTO

ORIENTADOR

Doutor Jorge Lino

PROFESSOR ASSOCIADO DA FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

ARGUENTE

Doutor João Marciano Laredo dos Reis

PROFESSOR ADJUNTO DA ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA E GESTÃO
DO INSTITUTO POLITÉCNICO DE VIANA DO CASTELO

18

08 NOVEMBRO 2018

MESTRE Filipe Moreira
MDIP/52



Universidade do Porto

Desenvolvimento de um novo material baseado em desperdícios de rocha natural

Filipe Moreira

Dissertação realizada no âmbito do
Mestrado em Design Industrial e do Produto

Orientador: Prof. Dr. Jorge Lino
Co-orientador: Prof. Dra. Bárbara Rangel
Co-orientador: Prof. Dr. Joaquim Góis

2018

Resumo

Os grandes eventos na história da civilização humana costumam ser rotulados com termos como Idade da Pedra, Idade do Ferro, Idade do Bronze, Revolução Industrial, Era da Informação, etc. Estes eventos tão marcantes para o ser humano possuem uma característica comum: a descoberta, extração, processamento e utilização de materiais naturais da Terra, muitos deles dando nome à respectiva era. A indústria de extração de recursos naturais tem um papel crucial no desenvolvimento atual da nossa sociedade, facultando matérias-primas fundamentais para a indústria, no entanto os impactos associados a esta atividade são cada vez mais notórios com o aumento da procura derivado do crescimento populacional e da quantidade gerada de desperdícios, que impede a renovação destes recursos.

Este trabalho aborda esses mesmo impactos e explora a possibilidade de reutilização de desperdícios gerados pela indústria de extração de recursos rochosos naturais através da produção de um material compósito constituído por partículas de pedra de diferente granulometria ligadas por uma resina epoxídica. Através do fabrico de amostras foi possível observar o comportamento dos componentes da mistura a nível estético e através do fabrico de provetes normalizados foram obtidas as propriedades físicas e mecânicas do material compósito. Os resultados obtidos permitiram concluir que o material desenvolvido não apresenta resistência mecânica adequada para ser aplicado em peças estruturais, no entanto representa uma grande oportunidade para o design de múltiplas peças com diferentes funções.

Palavras-chave

Desperdício, rocha natural, compósito, design, resina epoxy.

Abstract

Major events in the history of human civilization are often labeled with terms such as Stone Age, Iron Age, Bronze Age, Industrial Revolution, Information Age, etc. These events that were so striking to mankind have a common feature: the discovery, extraction, processing, and use of natural Earth materials, many of them naming their era. The natural resource extraction industry plays a crucial role in the current development of our society, providing key raw materials for the industry, but the impacts associated with this activity are increasingly evident with the increase in demand due to population growth and the amount of waste generated, which prevents the renewal of these resources.

This work addresses these same impacts and explores the possibility of reuse of wastes generated by the natural rock resource extraction industry through the production of a composite material consisting of particles of stone of different granulometry bound by an epoxy resin. Through the manufacture of samples it was possible to observe the behavior of the components of the mixture at the aesthetic level and through the manufacture of standardized test pieces the physical and mechanical properties of the composite material were obtained. The obtained results allowed to conclude that the developed material does not present adequate mechanical resistance to be applied in structural pieces, however it represents a great opportunity for the design of multiple parts with different functions.

Keywords

Waste, natural rock, composite, design, epoxy resin.

Agradecimentos

Ao orientador Prof. Jorge Lino e à coorientadora Prof. Bárbara Rangel.

Ao segundo coorientador Prof. Joaquim Góis, à Eng. Célia e ao Departamento de Minas.

À Doutora Cristina Carvalho e ao LNEG.

Ao Edwin e ao Leonardo do LDPS.

À família, amigos e colegas.

A todos os mencionados um grande obrigado por todo e qualquer contributo que foi prestado.

Agradecimento ao financiamento do Projeto NORTE-01-0145-FEDER-000022 - SciTech - Science and Technology for Competitive and Sustainable Industries, cofinanciado pelo Programa Operacional Regional do Norte (NORTE2020), através do Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER).



Índice

Resumo	I
Abstract	III
Agradecimentos	V
Índice	VI
Índice de figuras	VII
Índice de tabelas	IX
Símbolos e abreviaturas	X
1. Introdução	1
Objetivos	2
Metodologia	3
Estrutura do documento	4
Rocha natural.....	5
Minas.....	7
Pedreiras	10
Impacto ambiental, Sustentabilidade e Economia Circular	15
2. Estado da arte.....	17
Rocha e desperdícios de rocha	18
Rocha artificial (<i>Cast Stone</i>)	18
Mineral - Junta	19
Marmo Drain	20
Terraway	21
Silestone e Dekton	22
Instalação rochosa “impressa em 3D”	24
Impressão 3D com filamentos à base de rocha.....	25
Slatetec	27
Outros desperdícios industriais (Benchmarking)	28
3. Trabalho experimental	32
Normas e provetes	43
Ensaio e resultados	44
Discussão de resultados	46
4. Proposta de aplicação	47
Passo 1: Compreender o material – Caracterização técnica e experiencial	47
Passo 2: Criar uma visão da experiência de materiais.....	48
Passo 3: Manifestar padrões da experiência de materiais	50
Passo 4: Criar conceitos de materiais/produtos	57
Propostas de aplicação	58
5. Proposta de processo de fabrico	63
Protótipo.....	64
6. Conclusão	67
Limitações e sugestões futuras	69

Referências bibliográficas.....	70
Anexos.....	74
Anexo 1 – Ficha técnica da resina.....	74
Anexo 2 – Resultados do MDD	78
Anexo 3 – Resultados dos ensaios físico-mecânicos	79
Anexo 4 – Desenhos e principais medidas	85
Anexo 5 - Esboços.....	89

Índice de figuras

Figura 1 – Rocha ígnea (Granito cinza Corumbá) (Marmo Muller 2014).....	6
Figura 2 – Rocha metamórfica (Mármore Breccia) (Pedras & Polimentos 2017).....	6
Figura 3 – Rocha sedimentar (Arenito) (Polon 2018)	6
Figura 4 - Diagrama do processo de extração de minérios de metal (Dhar e Thakur 1996).	9
Figura 5 - Diagrama do processo de extração de rocha natural (University of Tennessee e Center for Clean Products 2008).	12
Figura 6 – Fonte feita em <i>cast stone</i> (esquerda) (outdoorartPROS 2016) e em rocha natural (direita) (archiproducts 2018).	18
Figura 7 – Desperdícios a partir dos quais o modelo demonstrador mineral é feito (Fibrenamics e CVR 2017b).....	19
Figura 8 – Estante “Junta” produzida com o material do modelo demonstrador mineral (Costa 2017).	20
Figura 9 – Exemplos de aplicação do pavimento drenante Marmo Drain (TH-PAV 2017).	21
Figura 10 – Pavimento Terraway (Jardins & Afins 2017).	22
Figura 11 – Exemplos de aplicação das superfícies Silestone numa cozinha e numa casa de banho (Cosentino 2017c).	23
Figura 12 – Exemplo de aplicação da superfície Dekton numa bancada de cozinha (Cosentino 2017b).	24
Figura 13 – Instalação rochosa “impressa em 3D” na Bienal de Arquitetura em Chicago (Gramazio et al. 2015).....	25
Figura 14 – Peças impressas em 3D utilizando filamentos de pó de pedra misturados numa matriz polimérica (Saunders 2017).	26
Figura 15 – Filamentos de impressão 3D Dark stone (esquerda) e Monumental (direita) (TreeD 2018).	26
Figura 16 – Exemplos de forma, cor e textura do material compósito Slatetec (Monteiro 2018).	27
Figura 17 – Modelo demonstrador Fibre (Fibrenamics e CVR 2017a).	28
Figura 18 – Modelo demonstrador Plastic (Fibrenamics e CVR 2017c).....	29
Figura 19 – Modelo demonstrador Wood (Fibrenamics e CVR 2017d).....	29

Figura 20 – Dress Your Pans feito com os materiais do modelo demonstrador Fibre (Regadas 2017).	30
Figura 21 – Kort feito com os materiais dos modelos demonstradores Fibre e Plastic (Ribau 2017).	30
Figura 22 – Facet Stool feito com o material do modelo demonstrador Wood (Soeiro 2017)....	31
Figura 23 – Matteo Lamp feito com os materiais dos modelos demonstradores Wood e Plastic (Ferreira 2017).....	31
Figura 24 – Organigrama da sequência do trabalho experimental.	33
Figura 25 – Etapas do processo de fabrico das amostras: 1) Pesagem dos resíduos, 2) pesagem da resina, 3) adição do catalisador, 4) mistura, 5) vazamento no molde de silicone e 6) amostra obtida após cura.	34
Figura 26 – Imagens de pormenor da amostra 2 translúcida (esquerda) e da amostra 12 compacta (direita).....	38
Figura 27 – Equipamento para obtenção de resíduos com granulometria definida: (1) britador de maxilas, (2) crivo de calibres grosseiros, (3) moinho de rolos, (4) crivo de calibres finos e (5) moinho de martelos.	39
Figura 28 - Fabrico dos provetes: (1-3) preparação da mistura e vazamento nos tubos de PVC, (4) obtenção dos varões compósitos cilíndricos, (5) corte dos provetes, (6) provete final, (7) fabrico de placas, (8) provete plano, (9) provetes cilíndricos e (10) secagem em mufla a 55°C.	44
Figura 29 – Ensaio físico-mecânicos efetuados aos provetes normalizados: (1) ensaio de absorção de água e massa volúmica aparente, (2) ensaio de flexão e (3) ensaio de compressão.	45
Figura 30 – Moodboards das imagens escolhidas pelos participantes para cada termo (Imagens disponíveis na base de imagens Pinterest 2018).	52
Figura 31 – Escalas sensoriais resultantes da avaliação feita pelos participantes para cada termo.	53
Figura 32 - Visualização do termo moderno segundo os participantes.	54
Figura 33 - Visualização do termo tentador segundo os participantes.	55
Figura 34 – Amostras mais votadas como preferidas segundo os participantes.	56
Figura 35 – Renders do candeeiro de mármore com base de mandeira.	59
Figura 36 – Imagem de inspiração do conceito (Pinterest 2018) e renders de vasos constituídos por misturas de rochas diferentes.	60
Figura 37 – Renders do relógio com xisto e madeira e amostra “UP” produzida com xisto e mármore.	61
Figura 38 – Imagem de inspiração do conceito (Ikeda 2016) e renders do suporte para livros.	62
Figura 39 – Ilustração da proposta de processo de fabrico para o candeeiro.....	64
Figura 40 – Construção do protótipo: (1) obtenção do molde, (2) vazamento no molde coberto por papel vegetal e (3) teste e retificação das peças obtidas.	65
Figura 41 – Protótipo exibido com e sem luz.	66

Índice de tabelas

Tabela 1 – Diferentes aplicações de vários tipos de desperdícios de rocha (traduzido e adaptado de Shirazi 2011).	13
Tabela 2 - Maiores produtores mundiais de rocha natural (traduzido e adaptado de Montani 2014)).	14
Tabela 3 – Resultados e observações do primeiro conjunto de amostras produzidas.	35
Tabela 4 – Rochas trituradas e respectivas granulometrias utilizadas.....	39
Tabela 5 - Resultados e observações do segundo conjunto de amostras produzidas com granulometria bem definida.....	40
Tabela 6 - Valores médios e desvio padrão da massa volúmica aparente, absorção de água, resistência à flexão e à compressão, para o compósito de mármore produzido e valores de comparação para rochas sedimentares, metamórficas e ígneas.	46

Símbolos e abreviaturas

°C – Graus Celcius

% - Percentagem

μm - Micrómetro

ARD – Acid Rock Drainage

M_V – Massa volúmica aparente

C – Percentagem de absorção de água

cm – Centímetro

CNC – Computer Numerical Control

CVR – Centro para a Valorização de Resíduos

ELV - Empresa de Lousas de Valongo

FBAUP – Faculdade de Belas Artes da Universidade do Porto

FDA - Food and Drug Administration

FEUP – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

g - Grama

G - Granito

h – Hora

k - Kelvin

kg – Quilograma

LDPS – Laboratório de Desenvolvimento de Produto e Serviços

LNEG – Laboratório Nacional de Energia e Geologia

M – Mármore

m - metro

MDD – Material Driven Design

MDIP – Mestrado em Design Industrial e de Produto

MDMS – Meaning Driven Materials Selection

mm - Milímetro

Mt – Mega toneladas

PLA – Políácido láctico

Ppm – partes por milhão

PVC – Policloreto de vinila

R_c – Resistência à compressão

R_{tf} – Resistência à flexão

REE - Resíduos Elétricos e Eletrônicos

RIME – Research Institute on Mines and Environment

rpm – Rotações por minuto

UQAT – Université du Québec en Abitibi-Técmiscamingue

UV - Ultravioleta

X – Xisto

W - Watt

1. Introdução

O planeta Terra, apesar da sua grandeza quase incompreensível, possui recursos finitos. Com o aumento populacional e o aumento do consumo não sustentável da população, o esgotamento desses recursos deixa de parecer uma ideia tão longínqua (Parkin e Weaver 2015). Um total de 39,3 mil milhões de toneladas de minérios metálicos, combustíveis fósseis e outros minerais não metálicos são extraídos da Terra por ano. A produção de produtos associados aos metais minados tem tendência a crescer em 250% até 2030, em grande parte devido a pequenos e médios empreendedores que atuam irresponsavelmente em países em desenvolvimento (Organisation for Economic Co-operation and Development 2008).

A grande maioria dos produtos e serviços existentes no mundo atualmente dependem das matérias primas geradas pelas indústrias extratoras. Objetos comuns do nosso quotidiano, como telemóveis, televisões e computadores são compostos por mais de 30 minerais diferentes (Larsen, Olsen, e Emanouilov 2018) e, embora as indústrias tenham contribuído para o avanço da civilização humana, o potencial para sérios impactos ambientais também é notório (K., Zengdi, e K. 2016). Estes impactos são a consequência da quantidade de matéria sem utilidade, extraída para alcançar a matéria de interesse, e da maneira como ela é gerida após concluído todo o processo de extração.

Desperdício é definido como a não utilização ou subaproveitamento de parte dos recursos disponíveis e mobilizados para uma determinada atividade (Porto Editora 2017). Trata-se de matéria sem nenhum, ou quase nenhum, valor económico e por isso é relevante encontrar uma aplicação útil para este subproduto que está atualmente muito pouco aproveitado.

O interesse desta investigação é uma convergência dos fatores mencionados, numa tentativa de confrontar os problemas existentes através de uma abordagem direcionada para o design, atendendo também a questões de sustentabilidade e economia circular, aproveitando e valorizando os desperdícios gerados nas indústrias de exploração e extração de recursos minerais naturais e utilizá-los na criação de novos produtos.

Objetivos

O que se pretende com este estudo é encontrar uma maneira de introduzir valor a um subproduto abundante, desperdícios originados dos processos envolvidos nas indústrias de exploração e extração de recursos minerais, transformando-os em matéria prima útil.

Através de pesquisa e experimentação pretende-se obter um novo material baseado nesses mesmo desperdícios e através do design propor novas aplicações, otimizando assim a quantidade de matéria extraída e reduzindo os impactos associados ao fraco descarte da mesma.

Metodologia

O desenvolvimento deste trabalho viu-se acompanhado por uma série de metodologias adotadas para uma melhor estruturação do processo de investigação e de design.

Primeiro, foi feita uma investigação generalizada sobre o tema para recolher uma imagem global de como o projeto iria ser desenvolvido. Após isso, o foco foi tentar perceber a origem da matéria-prima em causa e analisar as indústrias responsáveis pela sua exploração e extração, assim como, as consequências dessa mesma exploração e a ordem de grandeza dos desperdícios gerados. Para a recolha destas informações recorreu-se a artigos científicos, páginas da internet, livros, outras dissertações e alguns conhecimentos transmitidos por profissionais da área.

Depois, foi feita uma recolha de exemplos relativos a aplicações em que eram utilizadas diferentes formas de rochas, fossem elas desperdícios ou não, diferentes processos de fabrico e até mesmo outros tipos de desperdícios industriais de modo a obter um panorama geral do que já existe no mercado.

Com essas informações seguiu-se para o trabalho experimental que consistiu no fabrico de amostras utilizando diferentes rochas reduzidas a baixas granulometrias, com a ajuda da maquinaria presente no Departamento de Minas da FEUP, misturadas com uma resina epoxídica e vazadas em moldes de silicone com o intuito de atingir a mistura ideal com as melhores características físicas. Foram ainda produzidos provetes que foram submetidos a ensaios físico-mecânicos, obtendo assim, informações mais específicas das propriedades do material desenvolvido.

Finalmente, foi utilizada uma metodologia desenvolvida especificamente para facilitar o design com novos materiais, o MDD (Material Driven Design) (Karana et al. 2015). Após efetuadas as fases sugeridas pela mesma foi obtido um conjunto de características descritivas do material compósito importantes de implementar nas propostas de design. Essas propostas foram desenvolvidas através de modelação 3D com o programa SolidWorks, renderizadas com o programa KeyShot e um protótipo funcional de umas das propostas foi produzido manualmente com um molde de esferovite.

Estrutura do documento

O documento está dividido em 6 capítulos principais com diferentes números de subcapítulos em cada um.

O primeiro capítulo reúne todas as informações introdutórias ao tema deste trabalho, à maneira como este foi elaborado e aos conceitos envolvidos no seu desenvolvimento. Para além disso inclui a introdução teórica que fundamenta e justifica a necessidade de explorar este tema.

No segundo capítulo é exposto o estado da arte com exemplos demonstrativos de aplicações que utilizam a matéria-prima objeto deste estudo na sua composição, assim como diferentes tipos de desperdícios industriais que ajudam a compreender a forma como estes são tratados.

O trabalho experimental é documentado no terceiro capítulo no qual se demonstra o processo de tentar atingir as melhores características para o material compósito desenvolvido juntamente com os ensaios efetuados e os respetivos resultados.

O quarto capítulo explora uma metodologia de design, todos os passos sugeridos por essa metodologia e o culminar dos seus resultados inseridos nas propostas de design utilizando as diferentes características do material desenvolvido.

Uma proposta do processo de fabrico de uma das propostas de design é explicada no quinto capítulo e o fabrico de um protótipo funcional da mesma é demonstrado.

No sexto e último capítulo são retiradas as devidas conclusões de todo o trabalho juntamente com as dificuldades e limitações sentidas no decorrer do seu desenvolvimento e algumas sugestões daquilo que não foi possível atingir são deixadas para futuros trabalhos.

Rocha natural

Nas diferentes áreas de extração existe matéria que não é de interesse para a indústria, desde os minérios de metal até às rochas ornamentais, há sempre um subproduto resultante da obtenção dos mesmos. Uma vez que é este subproduto, os desperdícios de rocha natural, que serve como matéria prima e caso de estudo para esta dissertação, torna-se importante estudar a sua origem, tratamento e processamento.

Desde os primórdios da existência do ser humano que as diferentes rochas naturais têm sido utilizadas como matéria prima para ferramentas e materiais de construção. Ainda que, com a evolução humana, tenham sido vastamente substituídas pelos diferentes metais devido às suas melhores e mais homogêneas propriedades, os produtos rochosos continuam a ser explorados. As razões que levam a esta contínua demanda pela extração de rocha natural dependem do interesse da indústria que o pratica, seja pela sua intemporalidade, durabilidade e autenticidade no que toca a aplicações decorativas nas áreas de design e arquitetura ou pelos minérios metálicos existentes na sua composição com interesse para a indústria tecnológica e de energia. Estes aspetos serão explorados após perceber a origem e tipologia deste abundante recurso natural.

Para este estudo é apenas relevante a matéria rochosa que fica sem uso nas áreas de exploração e extração de recursos minerais, o subproduto que não possui valor económico e consequentemente considerado desperdício. É, portanto, importante saber como se originam naturalmente essas rochas e com que tipologias são possíveis de se encontrar, estudar o estado das indústrias responsáveis pela exploração deste recurso e perceber como surge o subproduto resultante dos processos associados à extração e processamento do mesmo.

Os materiais rochosos são produtos da Natureza presentes no estado sólido em toda a crosta terrestre, a litosfera (lithos = rocha), e possuem características únicas que estão dependentes da localização geográfica e consequentemente da formação rochosa da área. Existem, assim, três grandes tipos de rocha que diferem nas suas propriedades devido às condições ambientais, como a temperatura e a pressão, das quais resultam: as ígneas, as metamórficas e as sedimentares (Hagemann 2011).

As ígneas, ou magmáticas, são aquelas que resultam da solidificação do magma e apresentam um melhor comportamento geomecânico, entre as referidas, e por isso são das mais usadas na construção civil, apesar de, pela mesma razão, serem mais difíceis de processar pela maquinaria utilizada.



Figura 1 – Rocha ígnea (Granito cinza Corumbá)
(Marmo Muller 2014)

As metamórficas resultam de processos de mudanças mineralógicas, tanto mecânicas (pressão) como químicas (estrutura cristalina), de outras rochas pré-existentes o que provoca instabilidade quanto às suas propriedades finais.



Figura 2 – Rocha metamórfica (Mármore Breccia)
(Pedras & Polimentos 2017)

As sedimentares formam-se a partir da consolidação de sedimentos na superfície terrestre provenientes de processos naturais de erosão e degradação das outras rochas, adquirindo linhas horizontais que marcam cada camada. É o tipo de rocha com as propriedades mecânicas mais fracas.



Figura 3 – Rocha sedimentar (Arenito) (Polon 2018)

Para a fase seguinte de pesquisa sobre as indústrias que originam os desperdícios que servem de matéria-prima para esta investigação torna-se importante definir a diferença entre minas e pedreiras, embora os seus objetivos sejam relativamente iguais - extrair recursos minerais para fins comerciais. Uma mina pode ser subterrânea ou a céu aberto dependendo da profundidade a que se encontra a matéria de interesse que são os minérios de metal embutidos nas rochas. Uma pedreira por outro lado é uma escavação a céu aberto cujo foco de extração é a própria rocha que pode ser removida sob a forma

de blocos únicos que pesam várias toneladas, gravilhas ou areias dependendo da utilização final (Schrenk 2016).

Minas

Hoje em dia vivemos numa altura moderna e de grandes avanços tecnológicos em grande parte devido à indústria mineira que proporciona minerais que são utilizados em quase tudo o que conhecemos, desde o carvão que serve de combustível para alimentar geradores de eletricidade até aos filamentos de ouro e cobre presentes nos nossos dispositivos eletrónicos. No entanto, apesar dos benefícios destas atividades para a evolução humana, os seus efeitos no ambiente também se tornam bastante evidentes e, uma vez que se trata de um recurso disponível em toda a superfície terrestre, estes tornam-se de importância global (Hudson-Edwards, Jamieson, e Lottermoser 2011).

A quantidade desperdiçada varia consoante o valor possível de obter com cada produto extraído. Produtos como as argilas, areias e outros agregados de menor dimensão, como as gravilhas, possuem uma baixa percentagem de desperdício pois são inteiramente processados e aproveitados deixando apenas baixas quantidades de poeiras residuais. A obtenção de minérios metálicos, por outro lado, produz uma maior quantidade de desperdício pois em alguns casos a concentração desses minérios é de apenas algumas partes por milhão (ppm) (Lottermoser 2010). O ouro, por exemplo, é um metal precioso extensivamente procurado para o fabrico de componentes eletrónicos úteis para o desenvolvimento do ser humano, entre outras aplicações. Este metal que se encontra embutido, em poucas partes por milhão, em toda a crosta terrestre tem uma produção anual de 2700 toneladas e em média apenas 0,00001% do minério extraído é refinado em ouro sendo que o resto é desperdício cuja grande parte é matéria rochosa, muitas vezes altamente tóxica (The World Counts 2018).

Toda a produção global de recursos minerais encontra-se documentada e bem detalhada, existindo até livros que reúnem toda essa informação organizada por ano e por produto extraído (Brown 2014). O mesmo não acontece para os desperdícios gerados na exploração de recursos minerais, por isso, o autor *Bernd Lottermoser* faz uma estimativa baseada em suposições como forma de demonstrar a magnitude desta questão, tendo em conta a concentração de minerais metálicos no minério extraído e

assumindo que por cada tonelada de matéria extraída é gerada, no mínimo, a mesma quantidade de desperdício. Assim, *Bernd* conclui que anualmente e globalmente, entre os processos envolvidos na extração e no processamento, são produzidos entre 20,000 a 25,000 Mt (mega toneladas) de matéria sólida desperdiçada (Lottermoser 2010). Esta atividade industrial é responsável pela maior parte da produção de desperdícios no mundo cuja quantidade é comparável à ordem de grandeza de matéria movimentada pelo planeta Terra nos seus processos geológicos naturais como a erosão e a sedimentação (Förstner 1999).

A produção de desperdícios varia, ainda, conforme as entidades responsáveis pelas indústrias existentes pelo planeta e conforme os avanços tecnológicos da maquinaria utilizada. Na Austrália os desperdícios sólidos do setor mineiro perfazem 80% do total anual de todos os desperdícios sólidos gerados pelo país (Boger 1998), na África do Sul todas as minas contribuem para 72,3% do mesmo total anual (Maboeta e van Rensburg 2003) e na China esta indústria produz 70% do total anual do país (Liao et al. 2007).

Segundo a organização sem fins lucrativos, Pure Earth, a indústria de extração e processamento de recursos minerais está perto do topo das indústrias mais poluentes em todo o mundo ocupando a segunda posição da lista. Os processos associados a esta atividade resultam na produção de volumes excessivos de desperdício normalmente misturados com agentes poluentes como mercúrio, chumbo e cádmio. Mesmo com os avanços tecnológicos que permitem reduzir a poluição desta indústria, alguns não adotam essas tecnologias e essa falta de sensibilidade ambiental coloca cerca de 7 milhões de pessoas em risco em todo o mundo (Pure Earth 2016).

Esta atividade pode ser dividida nas seguintes secções: a mineração que é a extração de qualquer material de interesse do subsolo; o processamento mineral que é a separação física entre os minérios e a rocha que os envolvem; a extração metalúrgica que passa pela fusão do minério deixando de parte a rocha envolvente (Figura 4). Seja qual for o caso trata-se de uma atividade que envolve sempre desperdícios, nos processos de corte e tratamento, na rocha envolvente do minério, até mesmo todo o solo que é necessário remover para alcançar os produtos de interesse no subsolo (Lottermoser 2010).

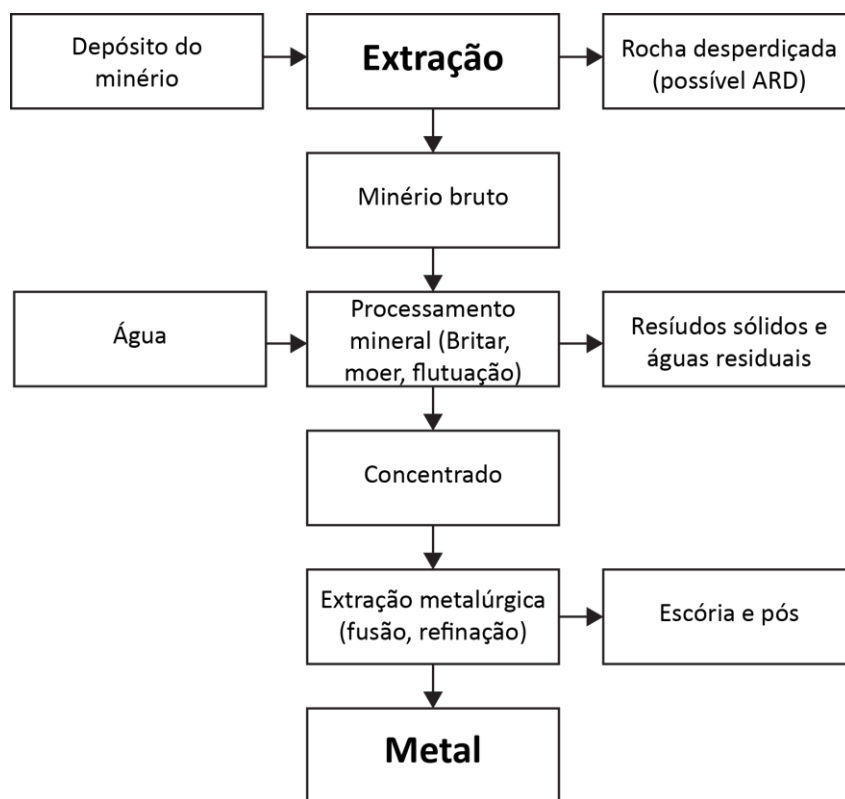


Figura 4 - Diagrama do processo de extração de minérios de metal (Dhar e Thakur 1996).

Os subprodutos resultantes nesta área industrial diferem na sua tipologia, forma, quantidade, impacto ambiental e potencial de reutilização, dependendo do sítio de extração, do recurso pretendido e da tecnologia envolvida em toda a operação. Deixando de parte os desperdícios relativos à utilização de água e gases e focando apenas naqueles de carácter sólido, são expostos os diferentes tipos resultantes e o seu respetivo tratamento (Fraser Institute 2012).

- O **capeamento**, todo o solo rochoso que se encontra entre a superfície e os recursos de interesse e que é necessário remover para ter acesso aos mesmos, é posto de parte para aquando do fim das operações sirva de enchimento para a reabilitação do sítio escavado e preservação do seu estado original;
- A **rocha desperdiçada**, toda a matéria rochosa grosseira que é rejeitada ou tem concentrações minerais demasiado baixas para produzir lucro, são por vezes armazenadas debaixo de água em lagoas especificamente construídas para o efeito perto do local de extração ou colocadas de parte para serem utilizadas como agregados para o fabrico de betão ou repostas no sítio escavado e cobertas

pelo capeamento. Pode ser extraída novamente se o seu valor económico subir e compensar os custos de extração;

- O **rejeito**, matéria de granulometria fina resultante das operações de processamento dos produtos extraídos, são normalmente depositados nas mesmas lagoas mencionadas anteriormente. Os rejeitos ricos em argila são utilizados no fabrico de tijolos, tijoleiras e cimento. Os rejeitos ricos em manganês são utilizados na agrossilvicultura e no fabrico de materiais de construção, revestimentos, resinas, vidros e vidrados;
- A **escória**, subproduto não metálico resultante do processo de fundição de minérios metálicos, é maioritariamente inofensivo para o ambiente e muito utilizado no fabrico de betão e na construção de estradas;
- Os **sedimentos**, resíduos sólidos provenientes do tratamento das águas usadas nos processos de extração. São removidos juntamente com alguns agentes químicos que podem ter sido adicionados e, se considerados ambientalmente seguros, são descartados para o subsolo.

Pedreiras

A rocha no seu estado natural é, ainda hoje, usada como material de construção devido às suas qualidades estruturais, assim como a sua estética única como uma impressão digital, é um recurso duradouro e puro já que a sua origem natural faz com que não seja necessária a utilização de químicos na sua obtenção. Não há limite para a variedade de cores, padrões e texturas que a natureza consegue facultar às rochas naturais sendo que cada produto resultante deste material é único e quase impossível de replicar. A intemporalidade proveniente da sua durabilidade é devido ao facto de a rocha não sofrer decadência, a patina resultante do envelhecimento natural deste material é muito apreciado e cada marca, racha ou picada que possa aparecer com o uso apenas adiciona carácter ao produto (Natural Stone Council 2003).

A extração começa com a remoção de blocos enormes de rocha com a ajuda de serras com fio de diamante sintético, para ser possível cortar este material de forma limpa e consistente, capazes de fazer cortes largos garantindo uma maior eficiência. Estes blocos chegam a pesar cerca de 18 000 kg e após cortados são rolados e tombados para

se soltarem do depósito rochoso e carregados em caminhões para transporte. Algumas pedreiras encontram-se em locais remotos, longe das fábricas de processamento, por isso o transporte pode-se tornar complicado em estradas pouco desenvolvidas. Já na fábrica os blocos são cortados segundo as dimensões requeridas para o produto final e, sempre que pretendido, é aplicado um acabamento superficial (Bedrosians 2017).

Neste ramo da extração de rocha natural, o produto de interesse é a própria rocha, por isso, a quantidade de desperdício tende a ser menor uma vez que se consegue obter um melhor aproveitamento do recurso pretendido, ainda assim a quantidade desperdiçada ronda os 75%. O facto de ser um produto natural tem as suas vantagens, mas pela mesma razão não há garantias quanto à homogeneidade no recurso rochoso extraído. As condições naturais de pressão e temperatura no momento de formação têm influência nas propriedades físico-mecânicas, fissuras e fraquezas existentes nos depósitos resultam em rochas fracas que lascam facilmente e não cumprem os requisitos estruturais. As ferramentas utilizadas nos processos de extração e tratamento sofrem desgaste e isso contribui também para a quantidade de desperdício pois podem danificar o produto e impedir que este seja aprovado para utilização (University of Tennessee e Products 2011). A figura 5 reúne todos os passos do processo de extração de rocha natural e indica os pontos de aparecimento de desperdícios.

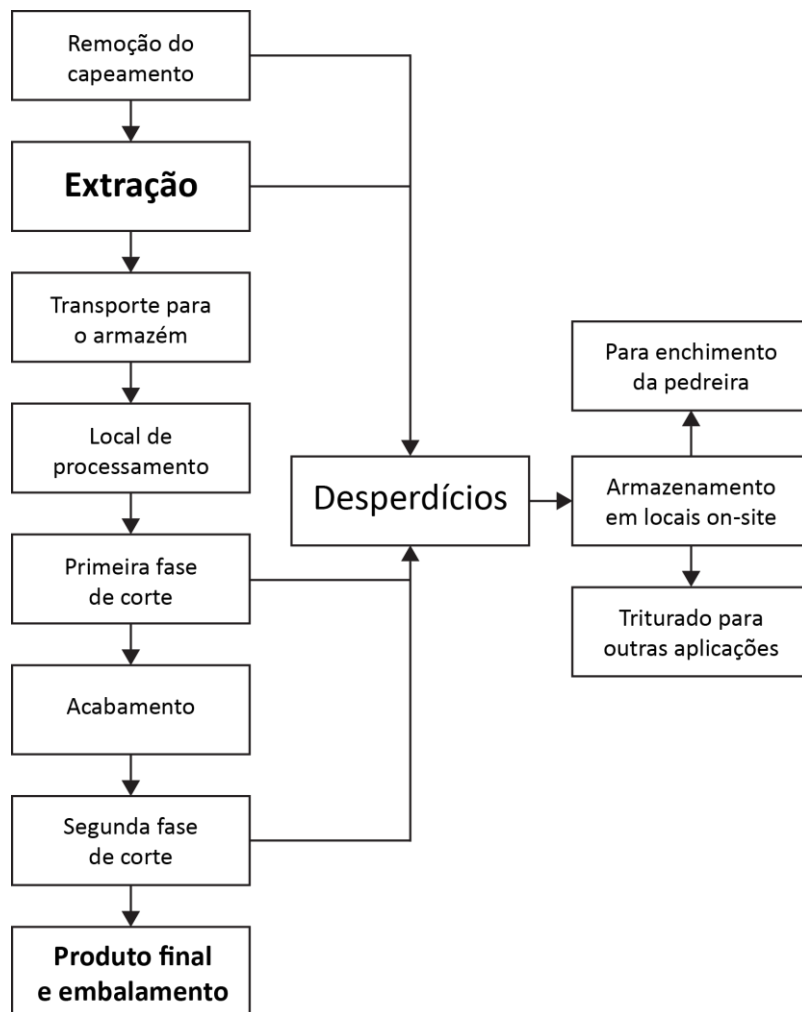


Figura 5 - Diagrama do processo de extração de rocha natural (University of Tennessee e Center for Clean Products 2008).

O material extraído neste caso é inerte, estável, por isso, não há problemas de contaminação devido a metais pesados ou de drenagem ácida. O fraco descarte dos desperdícios gerados nesta área provoca impactos paisagísticos, poluição de águas e consequentemente dos ecossistemas que essas águas irrigam, poluição aérea devido aos pós finos depositados sem cobertura que podem provocar complicações respiratórias (no caso de rochas com sílica, a inalação dos pós pode causar silicose, uma doença potencialmente mortal), oculares e dérmicas (University of Tennessee e Products 2011). Os desperdícios resultantes das operações desta área são especificados na tabela 1, assim como as respectivas aplicações nas quais são usados atualmente.

Tabela 1 – Diferentes aplicações de vários tipos de desperdícios de rocha (traduzido e adaptado de Shirazi 2011).

Tipo de desperdício	Diferentes aplicações para reutilização de desperdícios					
Pós	Produção de asfalto e cimento	Produção de tijolos	Material de enchimento para construção	Sistemas de bio filtração	Fonte mineral para o solo (agricultura)	Produção de agregados sintéticos
Agregados	Material de enchimento para construção	Componente de misturas para construção	Usos decorativos e paisagísticos	Sistemas de bio filtração	Pavimentação de exteriores residenciais	Base de estrada antes de alcatroar
Pedaços maiores de rocha	Material de enchimento de gabiões	Construção de cais	Usos decorativos e paisagísticos	Construção de margens	-	-
Blocos ou placas danificadas	Produção de agregados	Cortado em azulejos	Pavimentos	Fachadas	-	-

Avaliar as tendências dos mercados inerentes à exploração e produção de rocha natural para fins ornamentais revela-se uma tarefa importante para perceber o estado desta indústria. Dados de 2014 indicam que quase metade da produção mundial tem origem asiática sendo a China e a Índia os principais produtores que em conjunto perfazem cerca de 46% do total mundial (Tabela 2).

Tabela 2 - Maiores produtores mundiais de rocha natural (traduzido e adaptado de Montani 2014)).

Países	1996		2013		2014	
	Milhares de toneladas	%	Milhares de toneladas	%	Milhares de toneladas	%
China	7 500	16,1	39 500	30,4	42 500	31,1
Índia	3 500	7,5	19 500	15,0	22 000	14,7
Turquia	900	1,9	12 000	9,2	11 500	8,4
Brasil	1 900	4,1	9 000	6,9	8 750	6,4
Irão	2 500	5,4	6 500	5,0	7 000	5,1
Itália	8 250	17,7	7 000	5,4	6 750	4,9
Espanha	4 250	9,1	5 000	3,8	4 850	3,6
Egito	1 000	2,2	3 000	2,3	4 200	3,1
Portugal	1 950	4,2	2 650	2,0	2 750	2,0
Sub-total	31 750	68,3	104 150	80,1	108 300	79,3
Outros	14 750	31,7	25 850	19,9	28 200	20,7
Mundo	46 500	100,0	130 000	100,0	136 500	100,0

Estes dados sugerem uma tendência constante e crescente com acréscimos anuais de 14% na produção desde os 20 anos anteriores ao ano datado (Montani 2014).

Isto demonstra um interesse crescente na sociedade por produtos em pedra e, como resultado, enquanto houver pedra natural a ser explorada haverá desperdícios associados que são a base desta investigação.

Impacto ambiental, Sustentabilidade e Economia Circular

Estas indústrias provocam impactos no ambiente mesmo antes de começarem a extração dos produtos de interesse do subsolo. A construção de vias de acesso e de infraestruturas utilizadas no sítio de escavação implicam a desflorestação e destruição de habitats naturais de espécies animais e vegetais da área em causa (Lottermoser 2010). Chegada a fase de extração, a contínua acumulação de subproduto sem utilização, diretamente no solo, leva a potenciais e diversos problemas ambientais. A presença de elementos poluentes, como metais pesados nas rochas das quais se extraem minérios metálicos, levam à contaminação do solo e dos depósitos de água. A necessidade de remover o capeamento para chegar ao subsolo destrói a paisagem natural e a vegetação, o que afeta o valor estético, a agricultura e possivelmente populações locais (Castro-Gomes et al. 2012). Mesmo após a reabilitação da área explorada, a vegetação demora a apoderar-se do terreno fazendo com que processos naturais de erosão do vento e da chuva, por exemplo, tenham um impacto maior agravando os problemas mencionados (Zoran et al. 2010).

Medidas têm vindo a ser implementadas para reduzir, ou mesmo evitar, os impactos mencionados. O Instituto de Investigação em Minas e no Ambiente (RIME) é um programa fundado em 2013 pela UQAT (Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue) e pelo Politécnico de Montréal que desenvolve soluções ambientais inovadoras para o ciclo de vida de uma mina (UQAT-Polytechnique e Polytechnique Montréal 2013). Estudos mostram o interesse da indústria em novas abordagens de gestão de resíduos, desperdício de rocha em particular, que devido às suas propriedades geotécnicas em conjunto com a sua granulometria heterogénea representam um desafio para a segurança. A valorização dos desperdícios de rocha através da aplicação nas várias estruturas do próprio local de extração demonstram benefícios a nível ambiental, operacional e económico reduzindo, ainda, os volumes descartados (Li e Pabst 2016b). A gestão segura das grandes quantidades de desperdícios também representa um grande desafio para a indústria uma vez que podem ocorrer fenómenos como a drenagem ácida de rocha (ARD) que consiste na oxidação natural de alguns minerais quando expostos à água e ao ar podendo contaminar o solo e correntes aquáticas (Hane et al. 2017)– o ARD faz parte do processo de envelhecimento natural

das rochas em alguns ambientes, mas a interferência excessiva do Homem agrava o problema. O seu descarte requer a construção de infraestruturas próprias que implicam custos adicionais e, claro, a possibilidade de contaminação do solo (Li e Pabst 2016a).

Quando descartados fracamente, os desperdícios acumulados podem provocar graves problemas ambientais a nível topográfico e de ocupação de território, assim como poluição do ar e das águas quando levados pelos elementos (Celik e Sabah 2008). Os pós de mármore desperdiçado, com dimensões tão pequenas como 60µm, são subprodutos inertes da indústria resultantes dos processos de serração e polimento e foram alvo de estudo no sentido de serem implementados como substituto parcial do cimento no fabrico de betão (Ergün 2011).

Não estão em causa apenas problemas ecológicos, os resíduos sem utilização representam custos que foram investidos na sua extração e que não tiveram retorno implicando fatores económicos. Neste sentido, e com o crescente aumento nas atividades destas indústrias, a necessidade de reutilização de subprodutos torna-se cada vez mais crítica no âmbito de os reintegrar no círculo económico (Song, Lee, e Kim 2014).

2. Estado da arte

Este capítulo contempla o estado da arte com exemplos relativos à temática deste trabalho sobre a reutilização de desperdícios de rocha, assim como outros exemplos que utilizam rocha em diversas áreas de aplicação de modo a perceber a capacidade de inserção de resíduos no fabrico de alguns produtos realçando a vertente sustentável desses mesmos exemplos.

O objetivo desta pesquisa é reunir informação sobre que medidas têm vindo a ser implementadas para a reutilização de desperdícios industriais e evitar propor uma solução final já existente. Toda a informação é também relevante para a metodologia utilizada para a proposta de design especificada no Capítulo 4.

Para além das estratégias de gestão de minas e locais de escavação que são cada vez mais eficazes em reduzir o aparecimento de desperdício, embora longe de eliminá-lo de vez, a introdução de desperdícios no fabrico de outros produtos com utilizações mais convencionais e com mercado bem definido já é feita, por exemplo, no fabrico de betão e argamassas são usados agregados e a escória resultante da fundição de minérios metálicos assim como no asfalto que cobre as estradas e no fabrico de lâ de rocha com efeito de isolamento térmico e acústico.

Com o intuito de perceber o papel do design na questão da sustentabilidade e economia circular são, ainda, apresentadas aplicações de subprodutos de outras indústrias como a madeira e o plástico.

O tipo de material base, a matriz ligante e o processo de fabrico são fatores importantes a ter em conta para estabelecer a definição de um novo material. A divisão deste capítulo está feita segundo o material utilizado com um maior foco nos produtos de rocha e desperdícios de rocha e com consideração por outros subprodutos industriais com características semelhantes que podem ajudar a compreender a transversalidade dos processos de fabrico e componentes adicionais que possam ser utilizados. Entre cada exemplo há variações quanto ao processo de fabrico, aos agentes ligantes utilizados (se existirem) e respetivas quantidades.

Rocha e desperdícios de rocha

Rocha artificial (*Cast Stone*)

Cast stone é um produto feito com agregados de rocha natural, mas com o potencial de aproveitar o material indesejado da indústria de exploração de recursos minerais. Este simula as características visuais e de textura de uma rocha natural, contudo, com melhores e mais homogêneas propriedades mecânicas. Com a capacidade de substituir a rocha natural, que possui características únicas e transversais à sua tipologia, e com fins ornamentais, a rocha artificial é um produto resultante de agregados e areias naturais, cuja seleção tem influência na cor e textura final, misturados com cimento e, sempre que necessário, com pigmentos para atingir os tons necessários, fibras de reforço para garantir a resistência de peças com maior dimensão e um agente impermeabilizador para garantir que as peças não sofrem danos dos elementos quando aplicadas no exterior (UKCSA 2017a).

O fabrico de rocha artificial envolve moldes nos quais a mistura é vertida e a escolha do material dos quais são feitos influencia o acabamento superficial das peças. Após seca a mistura segue-se o desmolde e é feita uma cura das peças na qual ocorre uma reação química com o teor de água restante que resulta em peças homogêneas e resistentes garantindo uma maior durabilidade e utilidade tanto para o transporte como para a aplicação no local. A peça resultante possui uma aparência indistinguível de outra feita em rocha natural, como se pode perceber pela figura 6, por um custo relativo inferior (UKCSA 2017b).



Figura 6 – Fonte feita em *cast stone* (esquerda) (outdoorartPROS 2016) **e em rocha natural (direita)** (archiproducts 2018).

Mineral - Junta

O projeto *Fibrenamics Green* promovido pela plataforma internacional da Universidade do Minho, *Fibrenamics* e o Centro para a Valorização de Resíduos (CVR) é definido como “uma iniciativa de inovação sustentável que visa a valorização de resíduos provenientes de várias indústrias como fonte de criação de valor para o desenvolvimento de produtos inovadores, pela incorporação do design, engenharia e criatividade” (Fibrenamics e CVR 2017e). Esta iniciativa aproveita vários tipos de materiais residuais das indústrias, desde a madeira até ao revestimento de cabos elétricos, passando pelos desperdícios de rocha natural dos quais 85% são provenientes dos processos de corte e tratamento das indústrias transformadoras. Estimativas apontam para uma quantidade de resíduos de 30 toneladas por cada tonelada de material rochoso processado.

O Modelo Demonstrador Mineral (Figura 7) utiliza uma mistura constituída por 85% de resíduos de basalto e 15% de resina termoendurecível depositada num molde e utiliza um processo de infusão por vácuo para uma distribuição homogénea da resina. A infusão por vácuo é feita à temperatura ambiente, com uma pressão entre 0,03 bar e 1 bar e tem um tempo de cura de 12 horas. A utilização de diferentes granulometrias aliado a um processo de fabrico simples garante uma grande liberdade de geometria, textura e cor, e resulta num produto com boas propriedades mecânicas, ecológico e versátil, uma vez que é possível a aplicação de acabamentos microbianos (Fibrenamics e CVR 2017b).



Figura 7 – Desperdícios a partir dos quais o modelo demonstrador mineral é feito (Fibrenamics e CVR 2017b).

Com este material, o designer Ruben Costa criou a “Junta” (Figura 8), um produto versátil com várias aplicações e medidas, grande resistência, durabilidade e facilidade de encaixe produzido através dos processos de moldação por compressão e maquinação CNC (Costa 2017).



Figura 8 – Estante “Junta” produzida com o material do modelo demonstrador mineral (Costa 2017).

Marmo Drain

O *Marmo Drain* trata-se de um tipo de pavimento composto por agregados naturais de mármore com diferentes granulometrias (1-4mm), que permitem a obtenção de camadas finas (mínimo de 8mm), e uma resina de poliuretano com o efeito de ligante na mistura. O que torna o *Marmo Drain* diferente dos outros tipos de pavimento é o facto de ser completamente permeável, fazendo com que este seja a melhor opção em diversas situações, como por exemplo, em zonas de alta pluviosidade a água é drenada para o subsolo evitando cheias, ou onde existam zonas verdes em coexistência com o ambiente citadino facilitando a irrigação natural da flora através do pavimento que cobre as raízes.

Este produto é fácil de aplicar e não requer maquinaria pesada para o fazer, os componentes que constituem a mistura mantêm-se inalteráveis, não se deterioram, não amarelam, são resistentes ao desgaste, ao fogo, à radiação ultravioleta, a agentes químicos e atmosféricos e o seu impacto ambiental é nulo. Para além da sua principal funcionalidade de drenagem e das suas características físico-químicas, o *Marmo Drain* possui uma grande liberdade de design pois pode ser colocado em chãos, paredes, mesas e até banheiras, e está disponível numa vasta gama de cores que são fornecidas pelos pigmentos existentes na resina utilizada (Figura 9) (TH-PAV 2017).



Figura 9 – Exemplos de aplicação do pavimento drenante Marmo Drain (TH-PAV 2017).

Terraway

Semelhante ao exemplo anterior, este trata-se de um pavimento permeável que, no seu fabrico, utiliza uma mistura de inertes rolados ou britados e a resina ligante *Terraway* que dá nome ao próprio pavimento (Figura 10). A granulometria dos inertes utilizados varia entre 2 mm a 5 mm e podem ser provenientes de qualquer parte exceto quando são de origem marinha, pois o sal afeta a polimerização da resina, ou quando apresentam baixa resistência, como as rochas sedimentares. Dependendo das solicitações a que o pavimento estará sujeito, este varia entre 2,5 cm para tráfego de ligeiros e peões e 4 cm para o tráfego lento de pesados (Jardins & Afins 2014).

As principais características incluem:

- Alta permeabilidade – 99,6% de capacidade drenante;
- Elevada resistência mecânica;
- Preserva a cor natural dos inertes utilizados;
- Não tóxico;
- Elevada absorção sonora;
- Reduz a amplitude térmica;
- Reciclável e inodoro;
- Fácil manutenção e reparação;

- Confortável ao pisar;
- Resistente ao gelo e degelo;
- Baixa abrasão, mas de alta aderência.



Figura 10 – Pavimento Terraway (Jardins & Afins 2017).

Silestone e Dekton

Estes exemplos pertencem ao grupo Cosentino, uma empresa de nível global de origem espanhola que produz soluções inovadoras para superfícies principalmente para aplicações em cozinhas e casas de banho com grande foco e valor nas áreas da arquitetura e do design (Cosentino 2017a). Dentro da gama de produtos fabricados por esta empresa destacam-se os que utilizam como matéria-prima recursos minerais reduzidos a granulometrias finas. Assim como várias outras empresas deste setor (Technistone, Compac, Zodiaq, Corian e Caeserstone), esta garante o uso de resina ligante e mais de 90% de rochas naturais selecionadas, principalmente quartzo, granito e mármore, e, ainda que não sejam desperdícios da indústria, os processos associados a este exemplo são de grande interesse pois podem ser igualmente aplicáveis.

Silestone (Figura 11) é um produto constituído por 94% de quartzo natural reduzido a grãos finos misturados minuciosamente com resina e outros aditivos, como agentes antibacterianos, para formar uma massa homogênea. Essa massa é colocada num molde que passará por um processo de pressão por vácuo em simultâneo com um sistema de vibração para eliminar todo o ar encapsulado. Após bem compactada, a laje passa por um forno a 100°C durante 30 minutos e um arrefecimento à temperatura ambiente durante 24 horas para curar a resina. O resultado é uma superfície não porosa e altamente resistente a manchas, sendo possível polir e efetuar qualquer tipo de

acabamento superficial para enaltecer as características físicas e visuais valorizando a estética do produto (CosentinoTV 2013).



Figura 11 – Exemplos de aplicação das superfícies Silestone numa cozinha e numa casa de banho (Cosentino 2017c).

Dekton (Figura 12) é uma superfície ultracompacta, resistente ao risco, à temperatura e à radiação UV, com ótimas propriedades mecânicas e é impermeável garantindo que não mancha. O processo de fabrico patenteado utiliza uma mistura de água e 20 minerais diferentes que é moída até atingir a granulometria desejada. Após atingir as especificações, e adicionados os pigmentos pretendidos, a mistura é deixada a secar a 600°C até ser formado um pó com uma percentagem de humidade específica. Este pó é depositado de forma contínua, com atenção à decoração volumétrica, sendo possível imitar detalhes como os veios da madeira, é pré-compactado e cortado em lajes. É usado um processo inovador de sinterização de partículas que simula em minutos os processos geológicos naturais dos quais as rochas demoram milhões de anos a surgir - as lajes passam por uma prensa que exerce 25 000 toneladas de força seguido de uma secagem a 180°C, é impresso o desenho caso seja necessário e daí partem para o forno de sinterização onde vão percorrer 80 metros a uma temperatura de 1 200°C (CosentinoTV 2016).

As placas Dekton são inorgânicas e não se degradam, pois não utilizam resinas nem aditivos, as suas boas propriedades mecânicas resultantes deste processo único possibilitam o fabrico de lajes com dimensões até 3 200 mm x 1 440 mm x 30 mm fazendo com que haja menos juntas e a possibilidade de adicionar pigmentos e fazer impressões adicionam valor à vertente de design inerente a este projeto (Cosentino 2017b).

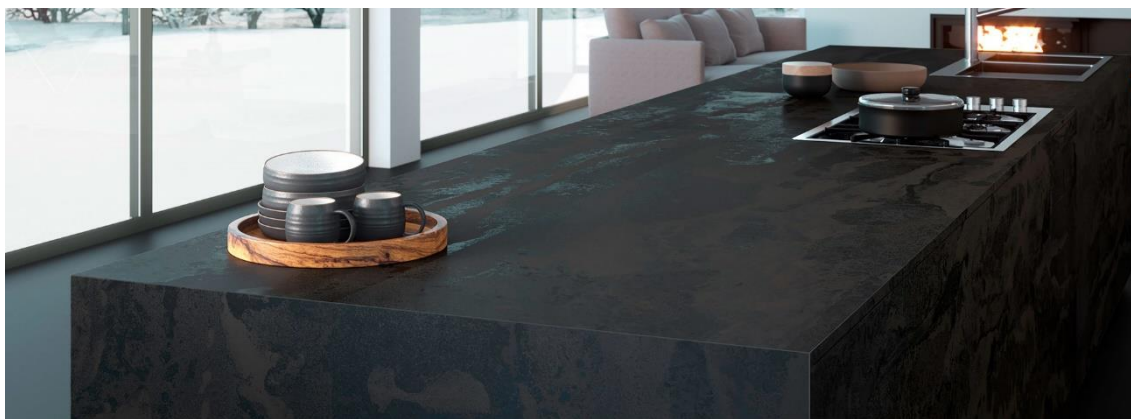


Figura 12 – Exemplo de aplicação da superfície Dekton numa bancada de cozinha (Cosentino 2017b).

Instalação rochosa “impressa em 3D”

Numa abordagem mais artística, esta instalação exibida na Bienal de Arquitetura em Chicago, 2015, explora uma vertente da impressão 3D que funde a intervenção manual com robôs automáticos (Figura 13). O processo é uma combinação da colocação de camadas de agregados naturais num molde e do processo aditivo da deposição de um filamento têxtil entre cada uma das camadas de rocha. Esta estrutura é construída somente por esses dois componentes, não existe mais nenhum agente ligante para além do filamento depositado pelos robôs.

Este projeto aborda a potencialidade do uso de estruturas completamente reutilizáveis na arquitetura que podem ser fabricadas automaticamente em geometrias complexas. É de realçar a capacidade reversível e reutilizável desta estrutura que utiliza filamentos têxteis que executam a tarefa de ligante com ação puramente mecânica, o que permite desmontar tudo com relativa facilidade introduzindo uma vertente construtiva plausível, versátil, sustentável e económica no mundo da arquitetura (Gramazio et al. 2015).



Figura 13 – Instalação rochosa “impressa em 3D” na Bienal de Arquitetura em Chicago (Gramazio et al. 2015).

Impressão 3D com filamentos à base de rocha

É seguro dizer que o processo de impressão 3D tem vindo a ser alvo de muita pesquisa de maneira a torná-lo mais eficiente e capaz de utilizar uma maior gama de materiais. A rocha é um desses materiais possíveis de ser transformados em filamentos para impressão quando reduzida a pó e misturada numa matriz polimérica.

A empresa holandesa Formfutura produz filamentos para impressão 3D usando materiais como pós de metal (MetalFil) ou fibras de cortiça (EasyCork). StoneFil é composto por 50% da sua massa de pó de pedra misturado com PLA que resulta num filamento com uma densidade 37% maior que os tradicionais materiais em PLA. Utilizando diferentes rochas como terracota e granito é possível imprimir objetos com a textura abrasiva e gradiente de cor da rocha natural. As peças obtidas (Figura 14) são aptas para contacto com alimentos segundo a FDA (Food and Drug Administration) e são impermeáveis (Saunders 2017).



Figura 14 – Peças impressas em 3D utilizando filamentos de pó de pedra misturados numa matriz polimérica (Saunders 2017).

TreeD Filaments é outro exemplo de inovação na área dos filamentos para impressão 3D. Esta empresa italiana utiliza desde borracha de pneus usados (PNEUMATIQUE) até polipropileno reforçado com fibras de carbono (PP-CARBON) passando, claro, pelo pó de rocha misturado em matriz polimérica como é o caso dos filamentos DARK STONE e MONUMENTAL (pó de mármore) (Figura 15) usados para impressão de objetos arquitetónicos com grande detalhe e textura similar à pedra natural (TreeD 2018).



Figura 15 – Filamentos de impressão 3D Dark stone (esquerda) e Monumental (direita) (TreeD 2018).

Slatetec

Esta inovadora forma de valorização de resíduos minerais de ardósia resulta da parceria entre a Empresa de Lousas de Valongo (ELV) e a Plataforma Internacional Fibrenamics da Universidade do Minho. Slatetec (Figura 16) utiliza o pó de ardósia deixado pelos processos de retificação e secagem das lamas que perfazem cerca de 9 toneladas de desperdício diário depositado nas minas antigas contrariando a economia linear típica da ELV e formando uma economia circular sustentável. Os autores não divulgam qual o agente ligante utilizado nesta tecnologia, mas referem-se a ela como um eco compósito leve, sustentável e antibacteriano. Características que associadas ao facto de ser um produto que pode adquirir várias texturas superficiais, dependendo da granulometria das poeiras usadas, diferentes cores, adicionando corantes à massa de pó e ligante, e formas tridimensionais, uma vez que é facilmente moldável fazem com que as suas aplicações sejam imensas, como decoração de interiores, revestimento de fachadas e pisos, mobiliário urbano e técnico (Monteiro 2018).

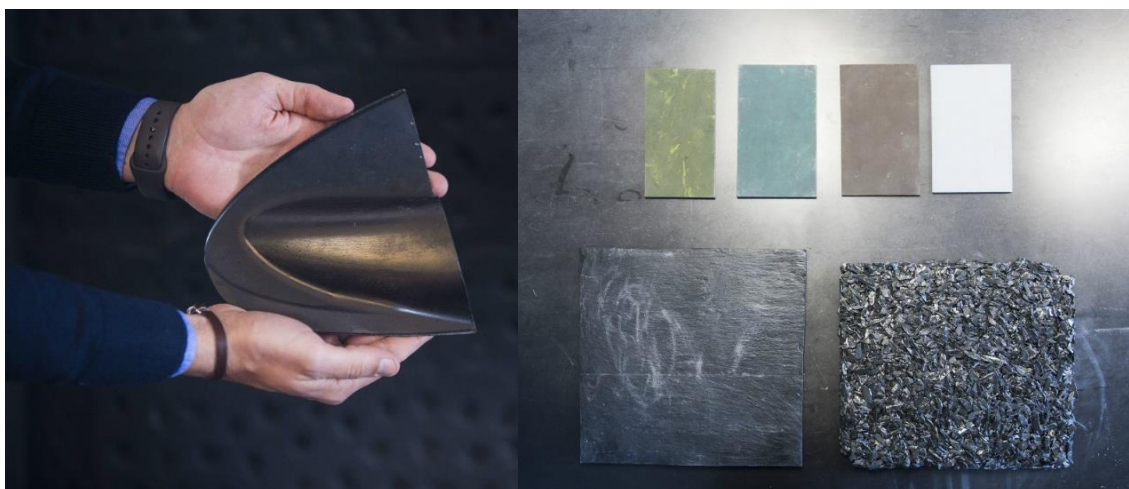


Figura 16 – Exemplos de forma, cor e textura do material compósito Slatetec (Monteiro 2018).

Outros desperdícios industriais (Benchmarking)

Uma das formas de encontrar novas aplicações e perceber os processos de fabrico associados passa por investigar materiais com a mesma origem e o que se faz com os respetivos desperdícios. Nesta área dos desperdícios industriais, o projeto *Fibrenamics Green* mencionado anteriormente no exemplo Mineral – Junta é uma ótima iniciativa de valorização de resíduos com exemplos demonstradores de diferentes tipos de materiais. Aqui são explorados esses exemplos, assim como alguns projetos que utilizam os materiais demonstradores.

Assim como o modelo Mineral, o projeto *Fibrenamics Green* apresenta outros modelos demonstradores feitos com desperdícios da indústria têxtil – Fibre, com resíduos elétricos e eletrónicos (REE) – Plastic e resíduos de madeira – Wood.

Fibre (Figura 17) é um não-tecido, ou seja, um manto de fibras naturais ou não naturais, com ou sem orientação definida e produzido através de métodos físicos ou químicos de fricção, coesão ou adesão. Este aproveita os desperdícios de fibras naturais como o algodão, o linho e a lã e de fibras sintéticas como o poliéster, originados nos processos de fiação, tricotagem e



Figura 17 – Modelo demonstrador Fibre (Fibrenamics e CVR 2017a).

tecelagem, que chegam a ser cerca de 80 000 toneladas por ano e dos quais apenas 28 000 toneladas (35%) são recicladas. Recorrendo à desagregação das fibras, elas são depositadas num manto consistente que entra numa câmara aquecida a 180°C e sob pressão durante 15 minutos ocorrendo a termoligação entre as diferentes fibras. O resultado é um tecido técnico com menor densidade e custo comparativamente com outros têxteis, resistente à abrasão, isolante acústico, sustentável e com grande valor para o design devido à sua fácil manipulação (Fibrenamics e CVR 2017a).

Plastic (Figura 18) é produzido com a componente polimérica isoladora dos cabos elétricos, daí estar classificado como REE. Ao contrário dos metais condutores que são facilmente reciclados, o isolamento plástico dos cabos resulta da combinação de matrizes poliméricas termoendurecíveis e termoplásticas dificultando a sua reciclagem. Triturando os cabos usados em granulado e separando os



Figura 18 – Modelo demonstrador Plastic (Fibrenamics e CVR 2017c).

componentes metálicos dos plásticos, o resíduo polimérico é colocado num molde e sujeito a um processo de moldação por compressão com ciclos de aquecimento e arrefecimento em que a temperatura chega aos 240°C e com uma pressão de 10 toneladas durante 15 minutos. Plastic resulta num material com propriedades de isolamento térmico e acústico, com absorção de impacto, resistência térmica entre 37,1 e 87,6 m² K W⁻¹ e com grande liberdade estética já que o seu aspeto varia com a cor e granulometria dos polímeros (Fibrenamics e CVR 2017c).

Wood (Figura 19) utiliza a madeira, um dos recursos naturais mais importantes a nível económico e ambiental, na sua constituição. Essa madeira quando submetida aos processos de corte e lixamento liberta serrim que é misturado com um polímero termoplástico de polipropileno em que 50% a 70% do peso final do composto é pó de madeira. A mistura é colocada num molde e



Figura 19 – Modelo demonstrador Wood (Fibrenamics e CVR 2017d).

sujeito a um processo de moldação por compressão a uma temperatura de 210°C e a uma pressão de 10 toneladas durante 20 minutos. Wood resulta numa placa rígida com boas propriedades mecânicas quanto ao alongamento e rotura e bom isolamento térmico e acústico (Fibrenamics e CVR 2017d).

Destes modelos demonstradores especificados resultaram produtos que utilizam os materiais finais desenvolvidos, alguns dos quais utilizam mais do que um desses materiais.

Dress Your Pans (Figura 20) aproveita as propriedades de isolamento térmico do modelo Fibre mantendo os alimentos quentes durante mais tempo e impedindo que o utilizador se queime a manejar a louça metálica da cozinha. Recorrendo ao processo de corte a laser, as peças são cortadas de forma adaptável e com efeito decorativo para os utensílios (Regadas 2017).



Figura 20 – Dress Your Pans feito com os materiais do modelo demonstrador Fibre (Regadas 2017).

Kort (Figura 21) utiliza os modelos Fibre e Plastic moldados por compressão e maquinados com auxílio de CNC para criar um conjunto de placas modulares que se juntam para formar áreas onde as crianças possam dormir e brincar de forma segura. Plástico por baixo para absorver possíveis impactos e fibra por cima para uma superfície macia e facilmente lavável (Ribau 2017).



Figura 21 – Kort feito com os materiais dos modelos demonstradores Fibre e Plastic (Ribau 2017).

Facet Stool (Figura 22) é uma peça de mobiliário com efeito tridimensional contruído a partir de uma única placa bidimensional do modelo Wood feita com resíduos de mogno, moldada por compressão e cortada por CNC. O resultado é um conjunto de peças facetadas que dão forma ao banco e nomeiam o produto (Soeiro 2017).



Figura 22 – Facet Stool feito com o material do modelo demonstrador Wood (Soeiro 2017).

Matteo Lamp (Figura 23) é outro exemplo que utiliza dois modelos demonstradores, Wood e Plastic. A combinação dos resíduos de madeira de mogno e de cabos elétricos resulta numa solução de iluminação decorativa, simples e ecológica feito através de moldação por compressão (Ferreira 2017).

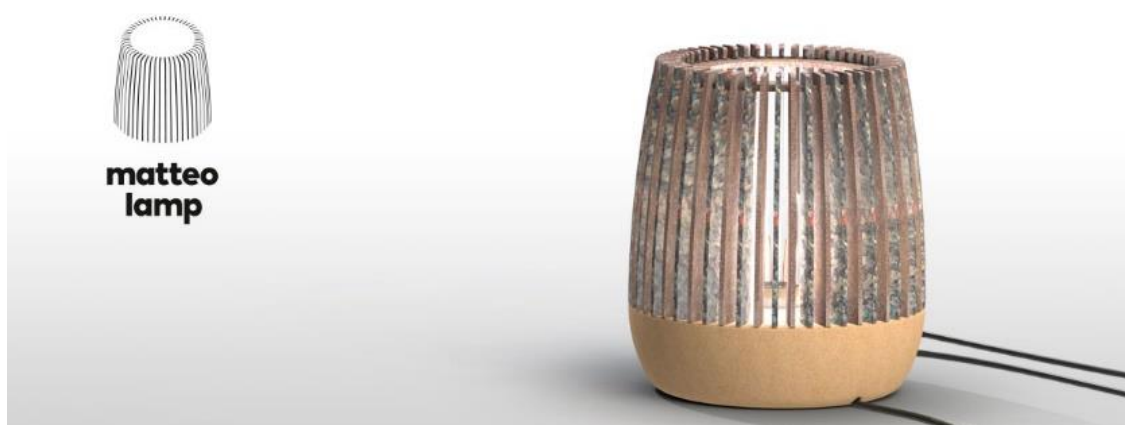


Figura 23 – Matteo Lamp feito com os materiais dos modelos demonstradores Wood e Plastic (Ferreira 2017).

3. Trabalho experimental

O trabalho experimental surge do interesse em encontrar uma possibilidade de introduzir valor a um recurso natural que é extraído e cujo excesso sem qualquer interesse e valor económico é posto de lado sendo atualmente considerado como desperdício industrial. Este capítulo explica o processo de obtenção de um material compósito de rocha aglomerada, constituído por partículas de baixa granulometria que são misturadas com uma resina que tem a função de agente ligante. Através do fabrico de amostras e provetes para os ensaios mecânicos serão encontradas características físicas e propriedades técnicas do material resultante.

Tendo em conta os projetos encontrados, os materiais existentes e os respetivos processos de fabrico, as diferentes granulometrias e geometrias dos resíduos gerados nas indústrias e a quantidade em que surgem, pode-se desde já concluir alguns fatores para a concretização desta fase experimental.

Os desperdícios rochosos aparecem sob várias formas, desde blocos disformes a pós e passando por agregados de diversas dimensões e geometrias, daí a necessidade de reduzi-los à mesma granulometria, tal como em todos os projetos encontrados no estado da arte, para garantir um resultado homogéneo. Para se fabricar algo com este tipo de material e submetê-lo a ensaios físico-mecânicos é necessário aglomerar as partículas, assim sendo, um processo ou agente ligante terá de existir para tornar isso possível. Apesar das propriedades mecânicas dependerem da tipologia da rocha utilizada no seu estado natural, quando se reduz a granulometrias na ordem dos 2 mm ou inferior, essas propriedades deixam de ser características das partículas e passam a vigorar as propriedades do aglomerado após a introdução do agente ligante. A tipologia das rochas utilizadas nesta fase terá influência maioritariamente nos aspetos físicos de cor e textura que é uma vertente importante de explorar no intuito de incutir um valor de design ao projeto.

O trabalho experimental é apresentado segundo a sequência dos acontecimentos que ocorreram para o efetuar. O organigrama da figura 24 ilustra essa sequência.

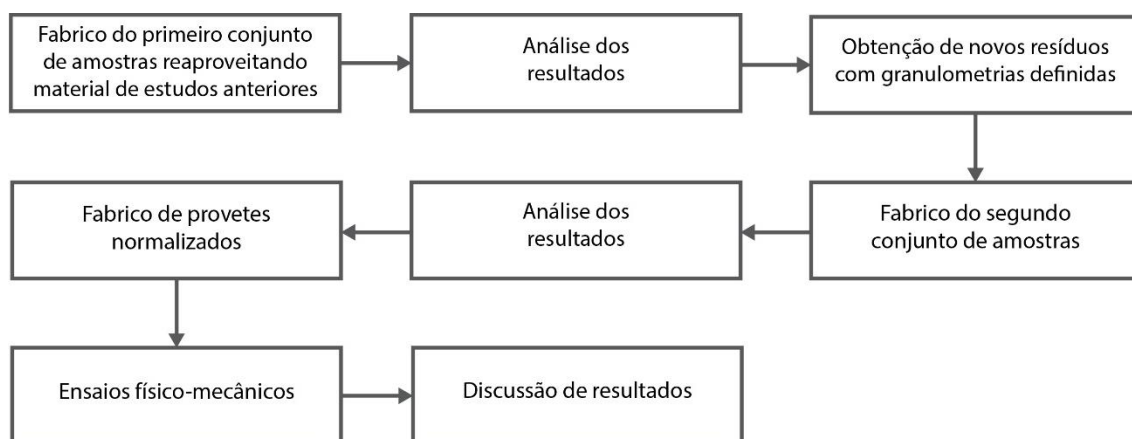


Figura 24 – Organograma da sequência do trabalho experimental.

O primeiro conjunto de amostras produzidas serviu para ter uma primeira impressão de como as rochas se comportavam e para praticar o processo de fabrico. Para isso foi utilizado como agente ligante uma resina epoxy de baixa viscosidade, Biresin CR83, com uma relação mássica de 100 para 30 do respetivo catalisador, Biresin CR83-6, que é o componente que reage quimicamente com a resina endurecendo a mistura (ficha técnica no Anexo 1).

O restante material necessário para a primeira fase de experiências foi aproveitado de trabalhos anteriores e inclui: uma balança digital, moldes de silicone, copos de plástico, resíduos de granito em pó e agregados, ardósia em pó e calcário em pequenas partículas. Como foi feito um aproveitamento de material de outro estudo as granulometrias das rochas não são conhecidas com exatidão.

Colocando os resíduos de rocha no molde foi estimado e arredondado às unidades o peso que era possível colocar no molde. A informação do peso é importante uma vez que a quantidade de resina é calculada segundo percentagens mássicas. Seleccionaram-se resíduos que foram pesados numa balança digital Kern (resolução de décima de grama) e foram misturados com a resina num recipiente de plástico com uma vara de metal, até se obter uma mistura homogénea. Após esta fase procedeu-se ao vazamento em moldes de silicone produzidos com dimensões adequadas para o fabrico das amostras. O desmolde ocorreu após 24h de endurecimento. A figura 25 apresenta as etapas descritas.

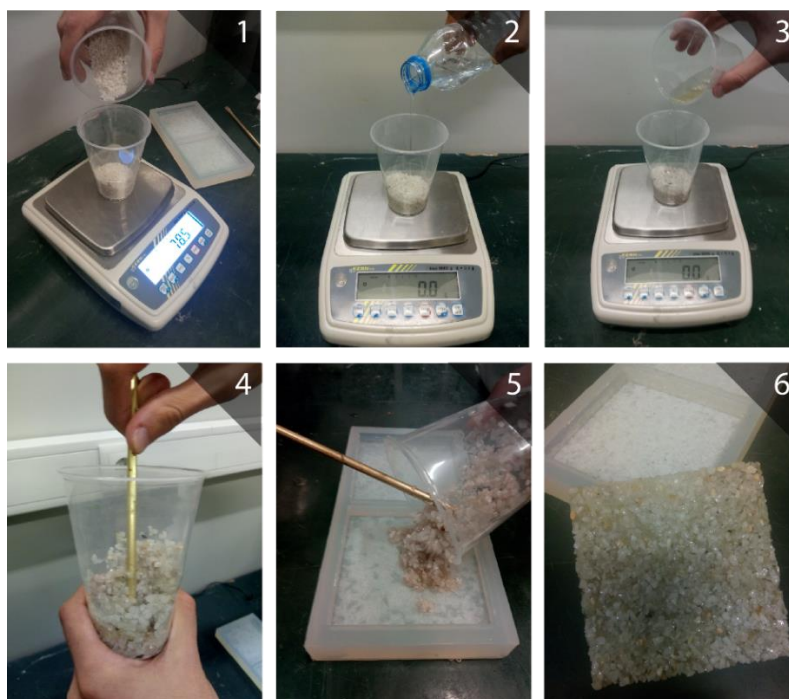



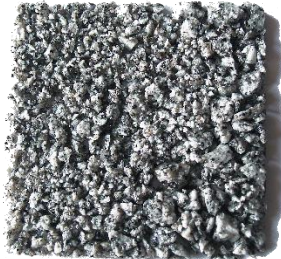








Figura 25 – Etapas do processo de fabricação das amostras: 1) Pesagem dos resíduos, 2) pesagem da resina, 3) adição do catalisador, 4) mistura, 5) vazamento no molde de silicone e 6) amostra obtida após cura.

Foram sendo definidas relações entre as quantidades de rocha e de resina com o intuito de perceber como as diferentes rochas se comportavam em mistura com o agente ligante tanto a nível de ligação das diversas granulometrias das partículas como a nível físico de combinação de cores e texturas. Era ainda importante perceber até que ponto era possível reduzir a quantidade de resina, maximizando a quantidade de rocha, sem que houvesse desagregações ou fragilidades notáveis. É de salientar que o peso estimado não é equivalente ao peso da amostra, as percentagens de rocha e resina perfazem o total do peso estimado sendo que a introdução do catalisador excede esse valor e as perdas associadas ao material que fica nos copos de mistura reduzem esse valor. Os resultados das amostras e respectivas observações são apresentados na tabela 3.

Tabela 3 – Resultados e observações do primeiro conjunto de amostras produzidas.

	<p>1) 15% resina / 85% granito (60g)</p>
	<p>2) 10% resina / 90% granito (70g)</p>
	<p>3) 15% resina / 85% ardósia em pó (70g)</p>
	<p>4) 10% resina / 90% granito (100g)</p>
	<p>5) 20% resina / 80% ardósia em pó (100g)</p>

	<p>6) 15% resina / 85% calcário em pó (80g)</p>
	<p>7) 10% resina / 90% granito (100g)</p>
	<p>8) 10% resina / 90% calcário em pó (100g)</p>
	<p>9) 15% resina / 85% ardósia em pó (80g)</p>
	<p>10) 15% resina / 42,5% granito + 42,5% ardósia em pó (100g)</p>

	<p>11) 15% resina / 42,5% granito + 42,5% calcário em pó (100g)</p>
	<p>12) 15% resina / 42,5% ardósia em pó + 42,5% calcário em pó (80g)</p>

Com um melhor entendimento do processo de fabrico deste tipo de material e analisados os resultados obtidos com as amostras anteriores já se pode chegar a algumas conclusões. A granulometria tem grande influência na forma como a resina interage com as partículas de rocha. Quanto mais finos forem os resíduos mais espessa será a mistura sendo mais difícil garantir a homogeneidade do material compósito, no entanto, e pela mesma razão, a capacidade de obtenção de forma usando o processo de moldação é melhor e o resultado após cura revela-se mais compacto e uniforme. No caso dos grãos maiores a mistura é mais fácil pois a resina sendo de baixa viscosidade consegue facilmente penetrar os vazios existentes entre os grãos. A existência desses mesmos vazios, que são o resultado tanto do tamanho como da geometria do grão, torna o resultado mais frágil devido à reduzida área de contacto entre as partículas, contudo, é uma característica interessante devido à permeabilidade à luz e a fluídos (Figura 26).

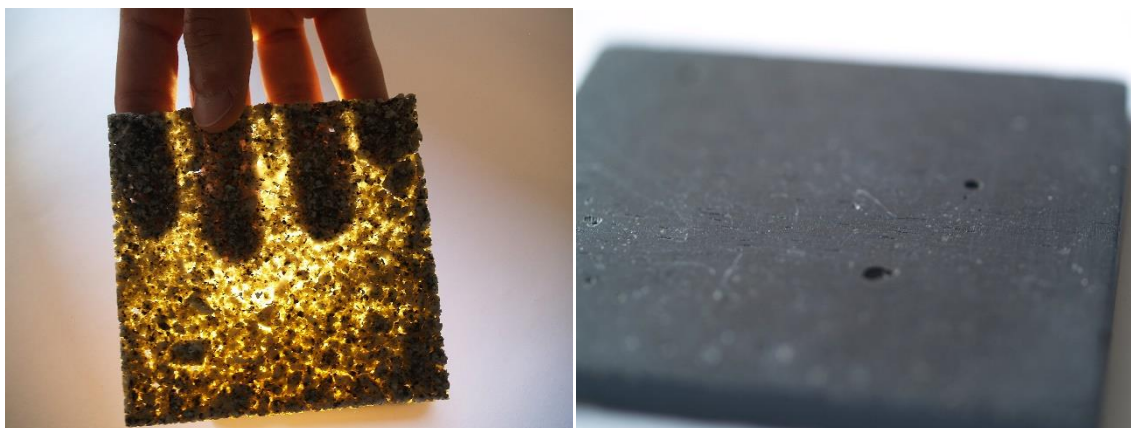


Figura 26 – Imagens de pormenor da amostra 2 translúcida (esquerda) e da amostra 12 compacta (direita).

Os principais fatores a ter em conta no desenvolvimento deste material são a granulometria e a tipologia da rocha que condicionam tanto os aspetos técnicos como físicos do compósito e a quantidade de resina a utilizar de modo a maximizar a utilização do subproduto industrial/matéria prima em causa.

De modo a obter uma melhor coerência nos resultados, a granulometria utilizada deve ser consistente e registada. Com a ajuda do Departamento de Minas da FEUP e o equipamento disponível foi possível obter mais material para continuar as experiências com granulometria coerente e rochas de tipologias diferentes e cores diferentes.

O equipamento inclui (Figura 27), por ordem de utilização: um britador de maxilas para reduzir os blocos de rocha em partículas grosseiras para poderem ser inseridos nos restantes equipamentos, um crivo de calibres grosseiros para remover diretamente as partículas demasiado finas para sofrerem alterações, um moinho de rolos que tritura o que não passou no crivo anterior em grãos menores, um segundo crivo de calibres finos de onde se obtém as partículas de acordo com o tamanho do grão pretendido e um moinho de martelos (Retsch SK100) do qual se consegue obter as partículas mais finas. Após o moinho de martelos é feita uma última passagem pelo crivo de calibres finos para garantir o correto tamanho do grão e proceder à separação do material. A tabela 4 indica as rochas utilizadas e as respetivas granulometrias obtidas.








Figura 27 – Equipamento para obtenção de resíduos com granulometria definida: (1) britador de maxilas, (2) crivo de calibres grosseiros, (3) moinho de rolos, (4) crivo de calibres finos e (5) moinho de martelos.






Tabela 4 – Rochas trituradas e respectivas granulometrias utilizadas.

	Granito (G)	Mármore (M)	Xisto (X)
Granulometria	< 1,18 mm	< 1,18 mm; 1,18 - 2,36 mm; 3,36 - 4,76 mm	< 1,18 mm; 1,18 - 1,70 mm

Com o material obtido com granulometrias mais refinadas e bem definidas foi então possível dar continuidade ao fabrico de amostras e retirar novas conclusões, desta vez mais detalhadas. As amostras obtidas e respectivas observações são apresentadas na tabela 5.

Tabela 5 - Resultados e observações do segundo conjunto de amostras produzidas com granulometria bem definida.

	<p>13) 10% resina / 90% M < 1,18 (100g)</p>
	<p>14) 10% resina / 90% 1,18 < M < 2,36 (100g)</p>
	<p>15) 10% resina / 90% G < 1,18 (100g)</p>
	<p>16) 5% resina / 95% G < 1,18 (100g)</p>
	<p>17) 10% resina / 90% 3,36 < M < 4,76 (100g)</p>

	<p>18) 5% resina / 95% $0,70 < X < 1,18$ (100g)</p>
	<p>19) 10% resina / 90% $1,18 < X < 1,70$ (50g) 10% resina / 90% $1,18 < M < 2,36$ (50g)</p>
	<p>20) 7% resina / 93% calcário em pó (50g) 7% resina / 93% $M < 1,18$ (50g)</p>
	<p>21) 5% resina / 95% $M < 1,18$ (25g) 5% resina / 95% calcário em pó (25g) 5% resina / 95% $G < 1,18$ (25g) 5% resina / 95% $X < 1,18$ (25g)</p>
	<p>22) 5% resina / 95% $3,36 < M < 4,76$ (33,3g) 5% resina / 95% $1,18 < M < 2,36$ (33,3g) 5% resina / 95% $M < 1,18$ (33,3g)</p>

	<p>23) 10% resina / 90% M < 1,18 (100g)</p>
	<p>24) 10% resina / 90% M < 1,18 (100g)</p>

Deste último conjunto de amostras é possível concluir que o tamanho e a geometria do grão influenciam não só a fragilidade, mas também as características físicas do compósito. Os grãos maiores fornecem uma textura mais grosseira e mais brilho às amostras, enquanto que os grãos finos fazem com que o resultado seja mais opaco e com a textura mais suave. No caso do xisto, o formato laminar dos seus grãos faz com que eles se arranjam de maneira a preencher melhor os vazios, assim, as amostras apresentam uma textura suave, mas brilhante. A quantidade de resina influencia o tom final do material, quanto mais resina, mais escuro fica o resultado. Quanto à pigmentação da resina, funciona bem com o mármore por ter uma cor clara e facilmente sobreposta, mas supõe-se que o mesmo não aconteça com materiais escuros como o xisto ou a ardósia.

Assim concluídos os testes relativos ao fabrico deste material compósito, da reação da resina consoante diferentes materiais e granulometrias e ao aspeto físico de combinações de cores e texturas, o próximo passo será submeter o material a ensaios físico mecânicos de modo a obter informações relativas às características técnicas.

O objetivo é maximizar a inserção de desperdícios de rocha e obter um material com características próximas de uma rocha no seu estado natural. Idealmente os ensaios deveriam ser conduzidos em provetes com variação na percentagem de resina, variação

da tipologia da rocha e variação de granulometria de modo a perceber que combinações resultariam melhor. Sendo necessários seis provetes, segundo a norma, por variável e por ensaio, não se revelou plausível produzir tantos provetes. De maneira a reduzir as variáveis, todos os provetes foram produzidos em mármore com a mesma granulometria, entre 0,84 mm e 2,38 mm, e apenas com variação na quantidade de resina para valores de 5% e 15% que são os extremos das percentagens utilizadas nas experiências anteriores.

Normas e provetes

Para submeter este material a ensaios mecânicos de forma a conseguir valores da ordem de grandeza das suas propriedades e comparar com as propriedades da rocha no seu estado natural foram utilizadas as seguintes normas portuguesas relativas a métodos de ensaio para pedra aglomerada.

- NP EN 14617-15 2010 - Resistência à compressão;
- NP EN 14617-2_2010 - Resistência à flexão (tração por flexão) (Revogada);
- NP EN 14617-1_2010 - Massa volúmica aparente e absorção de água (Revogada).

Para determinação da resistência à compressão, massa volúmica aparente e absorção de água, as Normas indicam que se deve utilizar provetes com a forma de cubos de 50 mm de lado ou cilindros de 50 mm de diâmetro e altura. Devido à facilidade de produção dos provetes cilíndricos, utilizaram-se tubos de PVC com comprimento suficiente para obter seis provetes em cada tubo. A cura do compósito foi dinâmica, ou seja, com um contínuo movimento de rotação dos tubos num tambor de rolos a 200 rpm durante 24h.

Para o ensaio de resistência à flexão os provetes devem ser placas com 200 mm de comprimento, 50 mm de largura e a altura é a prevista para a aplicação final, que neste caso é de 10 mm. Para os produzir foi utilizado um molde de silicone com as respetivas dimensões e a cura foi estática durante 24h.

Após o desmolde dos provetes e conforme recomendado pela responsável da condução dos ensaios a efetuar, estes necessitavam de uma secagem durante 48h a uma temperatura de 70°C. No entanto, devido à possibilidade de degradação das propriedades da resina a essa temperatura, a secagem e consequente pós-cura

resultante da introdução de temperatura foi feita num forno a 55°C, que é a temperatura de pós-cura da resina (Germanischer Lloyd 2014). A figura 28 mostra cada passo do processo de obtenção dos provetes normalizados.

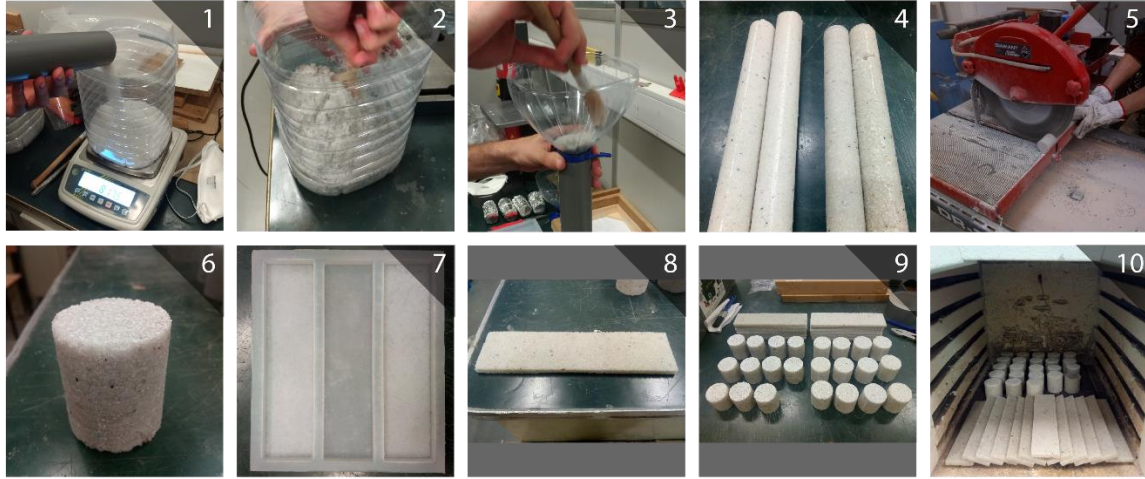


Figura 28 - Fabrico dos provetes: (1-3) preparação da mistura e vazamento nos tubos de PVC, (4) obtenção dos varões compostos cilíndricos, (5) corte dos provetes, (6) provete final, (7) fabrico de placas, (8) provete plano, (9) provetes cilíndricos e (10) secagem em mufla a 55°C.

Ensaios e resultados

Após efetuados os ensaios físicos e mecânicos a cada conjunto de 6 provetes (Figura 29), foram calculados os parâmetros indicados na Tabela 6 relativos aos compostos em mármore testados para 5% e 15% de resina usando, para os respetivos ensaios, as seguintes equações:

$$\text{Massa volúmica aparente} - M_V = \frac{M_0 \cdot \rho_{H_2O}}{M_t - M_a} \text{ (kg/m}^3\text{)} ;$$

$$\text{Absorção de água} - C = \frac{100 \cdot (M_t - M_0)}{M_0} \text{ (\%)} ;$$

Em que,

M_0 é a massa do provete pesado ao ar após secagem, em kg;

M_t é a massa do provete saturado de água limpo com um pano húmido e pesado ao ar, em kg;

M_a é a massa do provete saturado de água e pesado na água, em kg;

ρ_{H_2O} é a densidade real da água à temperatura de ensaio, em kg/m³.

$$\text{Resistência à flexão} - R_{tf} = \frac{3Fl}{2bh^2} \text{ (MPa)};$$

Em que,

F é a força de rotura registada no aparelho, em N;

l é o tamanho do vão, a distância entre os pontos de contacto nos apoios, em mm;

b é a largura do provete, em mm;

h é a espessura do provete, em mm.

Resistência à compressão - $R_c = \frac{F}{A}$ (MPa);

Em que,

F é a força de rotura registada no aparelho, em N;

A é a área média resultante das medições de dois diâmetros perpendiculares em cada base do provete cilíndrico.



Figura 29 – Ensaio físico-mecânicos efetuados aos provetes normalizados: (1) ensaio de absorção de água e massa volúmica aparente, (2) ensaio de flexão e (3) ensaio de compressão.

Na mesma tabela, para efeitos comparativos, indica-se o valor médio destes parâmetros para cada uma das tipologias de rochas existentes no seu estado natural: sedimentares, metamórficas e ígneas (Laboratório Nacional de Energia e Geologia 2002). Os valores individuais de cada ensaio podem ser consultados no anexo 3.

Tabela 6 - Valores médios e desvio padrão da massa volúmica aparente, absorção de água, resistência à flexão e à compressão, para o compósito de mármore produzido e valores de comparação para rochas sedimentares, metamórficas e ígneas.

	Compósito 5%	Compósito 15%	Rochas sedimentares	Rochas metamórficas	Rochas ígneas
Massa volúmica aparente (kg/m³)	1706,3 ± 13,8	1993,2 ± 23,4	2601,4	2721,7	2665,7
Absorção de água (%)	13,9 ± 0,9	0,1 ± 0,0	1,3	0,1	0,3
Resistência à flexão (MPa)	3,9 ± 0,4	15,4 ± 0,9	16,8	23,2	17,7
Resistência à compressão (MPa)	9,5 ± 0,8	42,6 ± 1,4 *	104,3	86,9	137,5

* média calculada apenas com valores de quatro provetes devido a problemas com os restantes.

Discussão de resultados

Os valores obtidos nos ensaios, de forma geral, foram pouco satisfatórios uma vez que os compósitos desenvolvidos se demonstraram mais fracos que as suas vertentes naturais.

Entre os provetes testados, o de 15% comportou-se claramente melhor que o de 5% em todos os aspetos e, curiosamente apesar de conter menos resíduos na sua composição, revelou possuir uma maior massa volúmica aparente demonstrando assim que a maior quantidade de resina aumenta a densidade do compósito resultante.

Em relação à resistência à compressão os valores dos compósitos ficaram bastante aquém dos restantes e, embora os valores da resistência à flexão não tenham superado os valores de comparação, estes ficaram bem mais próximos.

A única propriedade equiparável à das rochas mãe foi a percentagem de absorção de água que igualou o melhor valor dos três termos de comparação.

4. Proposta de aplicação

Este trabalho foi feito no âmbito do desenvolvimento de um novo material utilizando resíduos de pedra e a fase experimental passa por recolher informações acerca do composto resultante da mistura das rochas com uma matriz polimérica. Para uma melhor justificação e coerência do processo de design, as propostas deste capítulo surgem dos resultados de uma metodologia desenvolvida pelo departamento de Engenharia do Design da Universidade Tecnológica de Delft, Holanda, e pelo departamento de Design do Politécnico de Milão, Itália, especificamente para facilitar o design com novos materiais – **Material Driven Design (MDD)**. O MDD apresenta 4 passos para atingir conclusões com base no material disponível e nas suas características técnicas e experimentais, não sendo estritamente necessário aplicar todos os passos se no decorrer do processo houver já fortes conclusões (Karana et al. 2015). Esses passos encontram-se aqui explicados e aplicados ao tema desta tese.

Passo 1: Compreender o material – Caracterização técnica e experiencial

A caracterização de um material é uma maneira de compreender as suas qualidades, defeitos, constrangimentos e possíveis aplicações práticas. A nível técnico pode-se apontar propriedades como o peso e a resistência ao fogo e ao desgaste, enquanto que a nível experiencial as propriedades serão de carácter sensorial, interpretativo, afetivo e performativo. É importante seguir esta metodologia uma vez que o material objeto de estudo é uma combinação de dois materiais conhecidos e com propriedades definidas que formam um material composto novo, com propriedades novas e ainda por definir. Entretanto o autor coloca uma série de questões cujas respostas reúnem as informações mais relevantes para cada passo.

A nível técnico:

- Quais são as principais propriedades técnicas do material?
- Quais são as limitações/oportunidades do material?
- Quais são os processos de fabrico mais convenientes?

- Que outros processos se poderão usar? Como é que o material reage a outros processos?

O material compósito resulta de um processo de moldação, em alguns casos é utilizada compressão e idealmente deve ser usado um mecanismo que mantenha a peça em movimento fazendo com que a cura da resina seja dinâmica, em vez de estática. Isto melhora a homogeneidade da mistura e consequentemente as propriedades da peça final. É um material mais leve e menos resistente do que a sua vertente natural não podendo ser aplicado em peças estruturais. Apenas a percentagem de absorção de água se demonstrou equiparável e, com a resina apropriada e resistente a solicitações químicas, este material poderia ser aplicado em peças para casas de banho ou cozinhas.

A nível sensorial:

- Quais são as qualidades sensoriais únicas do material?
- Qual é a melhor e a pior qualidade sensorial do material?
- O material é associado a algum outro devido a semelhanças estéticas?
- Como é que as pessoas descrevem o material? Que tipo de interpretações tem?
- Suscita algum tipo de emoções (surpresa, medo, relaxamento)?
- Como é que as pessoas interagem com o material?

Trata-se de um compósito simples apenas com dois componentes cuja relação percentual entre os dois faz com que as qualidades sensoriais dos resíduos rochosos predominem. A textura é a principal e a melhor qualidade sensorial deste material, assim como a gama de cores característica das rochas naturais. As pessoas que interagem com este material sentem-se curiosas e tentadas a manusear e, algumas delas, a cheirar as amostras. A pior qualidade poderá ser mesmo o cheiro, principalmente o da resina, e o facto de haver ligeiras desagregações de partículas. O material assemelha-se às respetivas rochas dos quais os resíduos foram obtidos, mas com um aspeto cristalizado.

Passo 2: Criar uma visão da experiência de materiais

O MDD sugere que a articulação das intenções do design pode ajudar a resumir toda a informação encontrada e orientar as decisões através de todo o processo, prevendo a função que o material poderá ter para contribuir de forma positiva em termos de funcionalidade e experiência para o utilizador quando aplicado num produto. Através do estado da arte e da pesquisa bibliográfica feita nos primeiros capítulos é possível ter uma visão das tendências na sociedade e que tipo de produtos tem mais significado e valor. Estas informações podem ajudar a descobrir um caminho visionário para uma futura aplicação do material. Novamente, após uma reflexão da pesquisa feita, o autor indica as questões às quais as respostas ajudam a aprofundar o entendimento do material em causa e a formar o design da proposta final.

- Quais são as qualidades técnicas/experienciais a enfatizar na aplicação final?
- Em que contexto é que o material faria uma diferença positiva?
- Como é que as pessoas iriam interagir com o material dentro de um determinado contexto?
- Qual seria o contributo único do material?
- Como é que seria percebido e interpretado (a nível sensorial e interpretativo)?
- O que iria suscitar nas pessoas (a nível afetivo)?
- O que iriam fazer as pessoas (a nível performativo)?
- Qual seria o papel do material num contexto mais amplo (na sociedade, no planeta)?

Tendo em conta a informação recolhida para o estado da arte percebe-se que este tipo de materiais que utilizam rochas na sua composição são aplicados maioritariamente em superfícies, como balcões de cozinha, revestimento de casas de banho ou pavimentação de exteriores. A aplicação final poderá escapar um pouco a essa convenção e valorizar a translucidez presente em algumas amostras aproveitando uma das propriedades físicas do agente ligante e enaltecendo a componente mineral dos resíduos utilizados. Não sendo possível inserir em peças sujeitas a grandes solicitações, a aplicação deste material será a nível decorativo e poderá enfatizar aspetos que produtos de rocha não

costumam ter. Este material poderá ser um conceito que contribui ativamente para a redução de desperdícios na indústria e sensibilizar o público quanto a questões de sustentabilidade e reaproveitamento de qualquer tipo de material e fazer ver matéria prima onde outrora se via lixo.

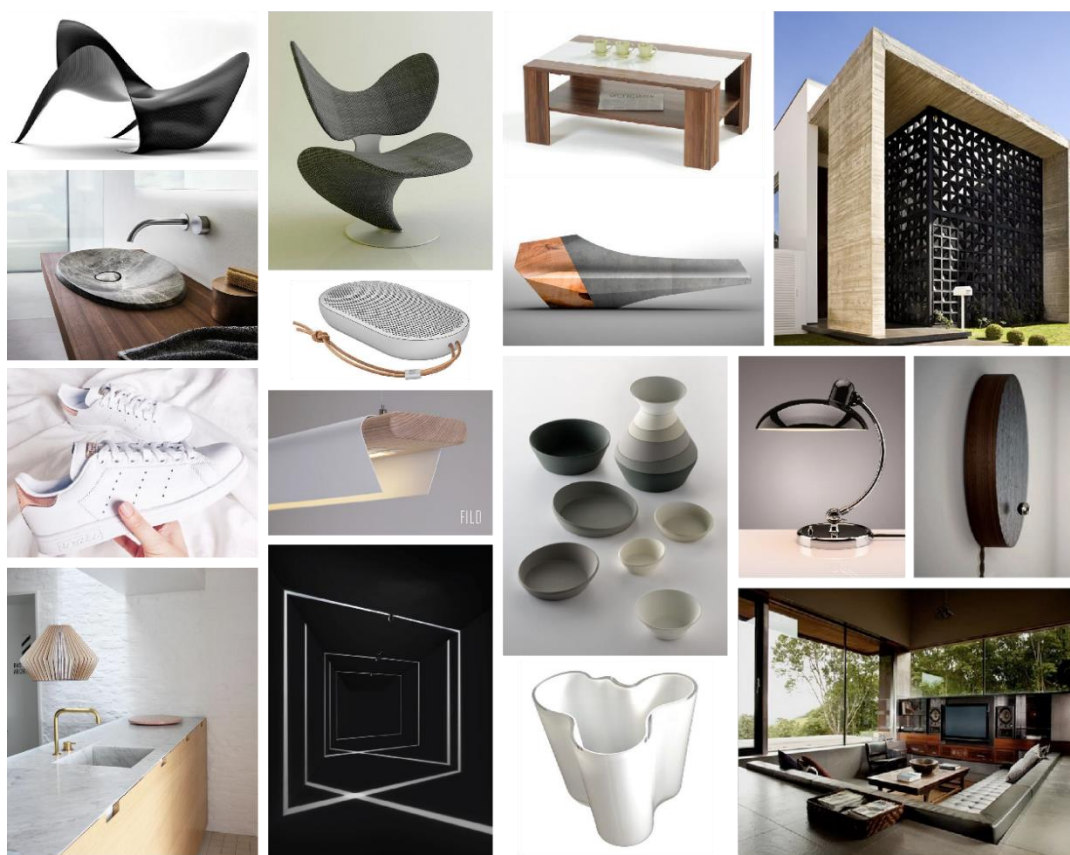
Passo 3: Manifestar padrões da experiência de materiais

Concluídos os passos anteriores e tendo em conta as informações obtidas já é possível imaginar alguns exemplos para uma futura aplicação do material desenvolvido. Seguindo uma abordagem convencional, este material poderia ser utilizado para a produção de superfícies planas como pavimentos, bancadas de cozinha ou casa de banho. Por outro lado, aproveitando as características de transparência do agente ligante utilizado, assim como o resultado final de algumas amostras que apresentam espaçamentos devido ao tamanho do grão, poderia ser introduzida em aplicações luminosas. No entanto, quando se desenha algo para potenciais utilizadores a opinião dos mesmos é de grande importância, por isso, o terceiro passo ajuda a entender como outras pessoas interagem com o material aplicado a um produto imaginado. A sugestão do MDD é arranjar significados sob o nível interpretativo da experiência do material e definir palavras-chave que caracterizem o que é pretendido para o produto final. Um método de suporte é introduzido neste passo – **Meaning Driven Materials Selection (MDMS)**, incorporado no MDD e desenvolvido pelo mesmo autor. No MDMS um grupo de pessoas com formação em design são convidadas a participar num estudo em composto por três tarefas: (1) seleccionar uma amostra que possam associar aos termos definidos; (2) escolher uma imagem de um produto onde gostariam de ver o material aplicado; (3) explicar a escolha e avaliar o material usando uma escala sensorial (Karana, Hekkert, e Kandachar 2010).

Tendo em conta a intemporalidade do recurso natural em questão e a grande utilização que este teve e continua a ter até aos dias de hoje, pode-se considerar um material clássico e, sendo de origem natural e com disponibilidade global, modesto. Como a intenção é inovar e desviar dos usos tradicionais, os termos definidos para a aplicação final foram **moderno** e **tentador** em contraste com as características do material rochoso. Neste estudo participaram 16 estudantes de design com idades compreendidas entre os 22 e os 40 anos dos quais 7 são do sexo masculino e 9 do

feminino. O estudo foi conduzido no Design Studio da FEUP em que as amostras eram dispostas diante dos convidados e com instruções para não interagir imediatamente com as mesmas. Após uma breve análise visual foram questionados sobre qual era a peça que lhes dava mais vontade de manusear e analisar com mais detalhe de modo a descobrir qual era a mais tentadora e de seguida foram questionados sobre qual era a peça mais moderna. A segunda tarefa foi ligeiramente modificada para aumentar a originalidade das respostas. Foi pedido aos convidados para escolherem uma imagem de um produto que conseguissem relacionar com cada um dos termos em vez de escolher um produto onde vissem o material aplicado. O resultado desta modificação, juntamente com a avaliação da terceira tarefa, foi o conjunto de imagens da figura 30 e escalas sensoriais da figura 31 das quais foi possível retirar características relativas a cada um dos termos.

Moderno



Tentador

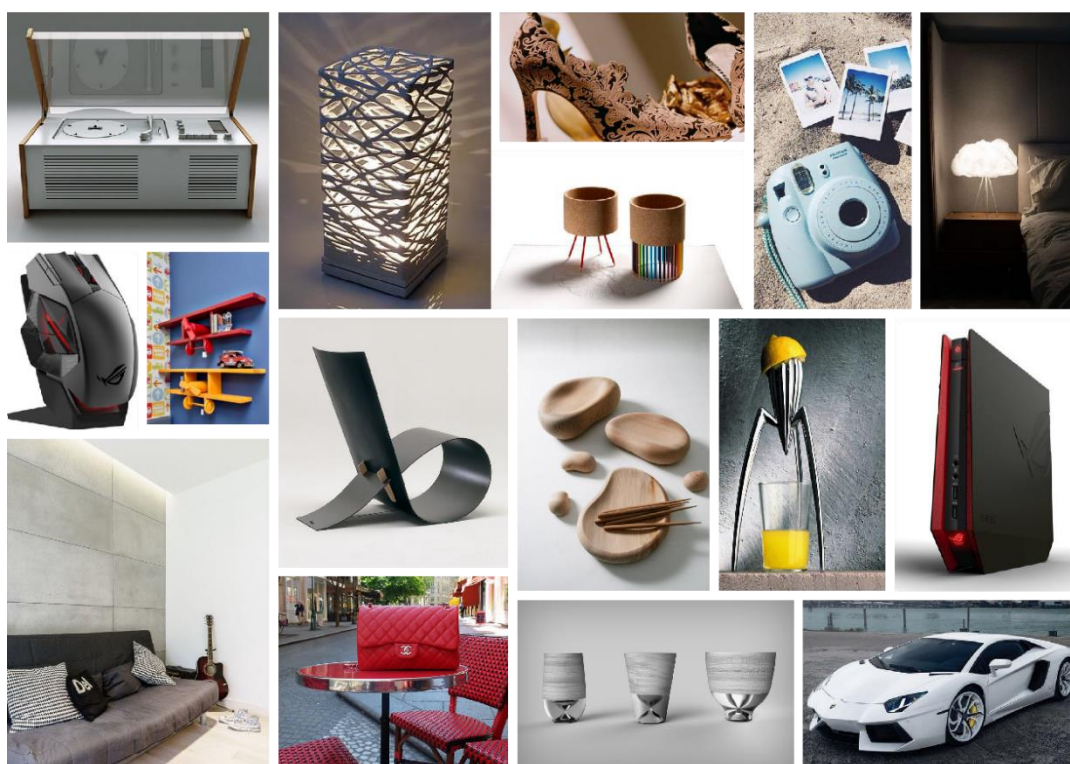


Figura 30 – Moodboards das imagens escolhidas pelos participantes para cada termo (Imagens disponíveis na base de imagens Pinterest 2018).

Os conceitos observados são discutíveis, tendo em conta que as interpretações de cada um são subjetivas, mas analisando os conjuntos de imagens recolhidas consegue-se retirar características em comum entre elas que ajudam a definir a proposta final segundo os termos escolhidos. Para o termo tentador sobressaem cores quentes como vermelho e amarelo assim como algumas relações a tecnologia e alta performance. São na sua grande maioria objetos de interação e há uma mistura entre linhas curvas e suaves com linhas retas. Para o termo moderno notam-se cores neutras, com alguns toques de castanho, e as formas apresentam-se tanto geométricas como fluidas.

Nota-se em quase todos os exemplos junções de diferentes materiais e encontram-se algumas imagens relacionadas com iluminação, mais uma vez indo de encontro com as propriedades de translucidez verificadas.

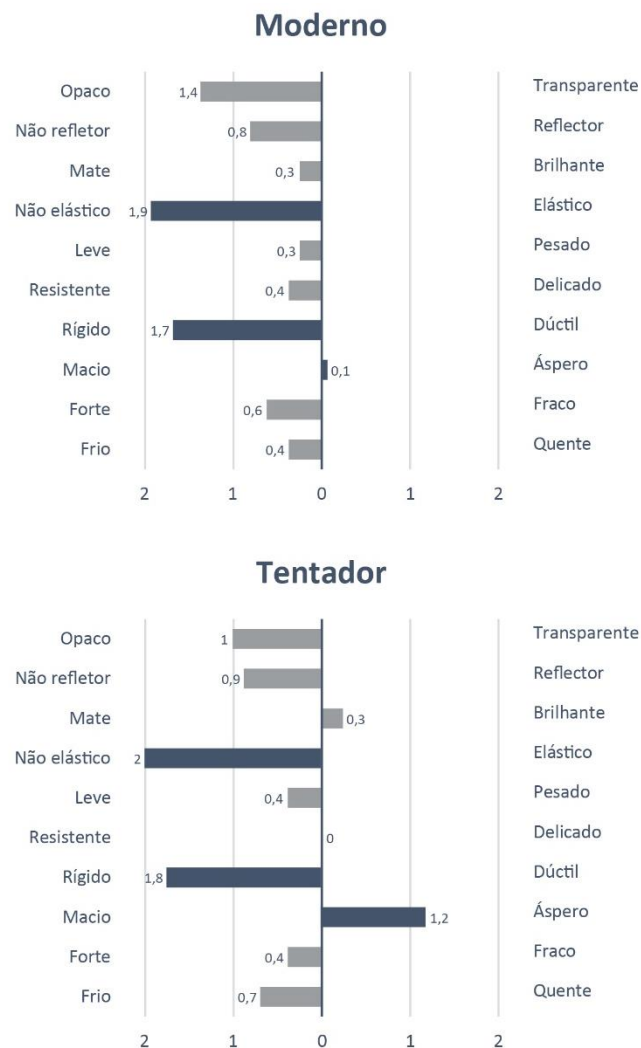


Figura 31 – Escalas sensoriais resultantes da avaliação feita pelos participantes para cada termo.

Os gráficos foram feitos com os resultados obtidos da avaliação sensorial feita pelos participantes (Anexo 2) e revelam grandes semelhanças. As características mais notórias, nomeadamente a falta de elasticidade, a rigidez e a textura áspera, em realce nos gráficos, são comuns para os dois termos. Isto deve-se ao facto dessas características serem comuns às rochas que predominam na mistura. Outros fatores sobressaem nesta comparação como o facto de o termo tentador ter sido interpretado como brilhante, em oposição ao moderno, e mesmo a textura áspera é significativamente maior na avaliação de tentador.

Com as respostas dadas pelos participantes e com as observações feitas durante o questionário foram elaboradas visualizações que resumem as informações obtidas e relativas aos termos selecionados (Figuras 32 e 33).

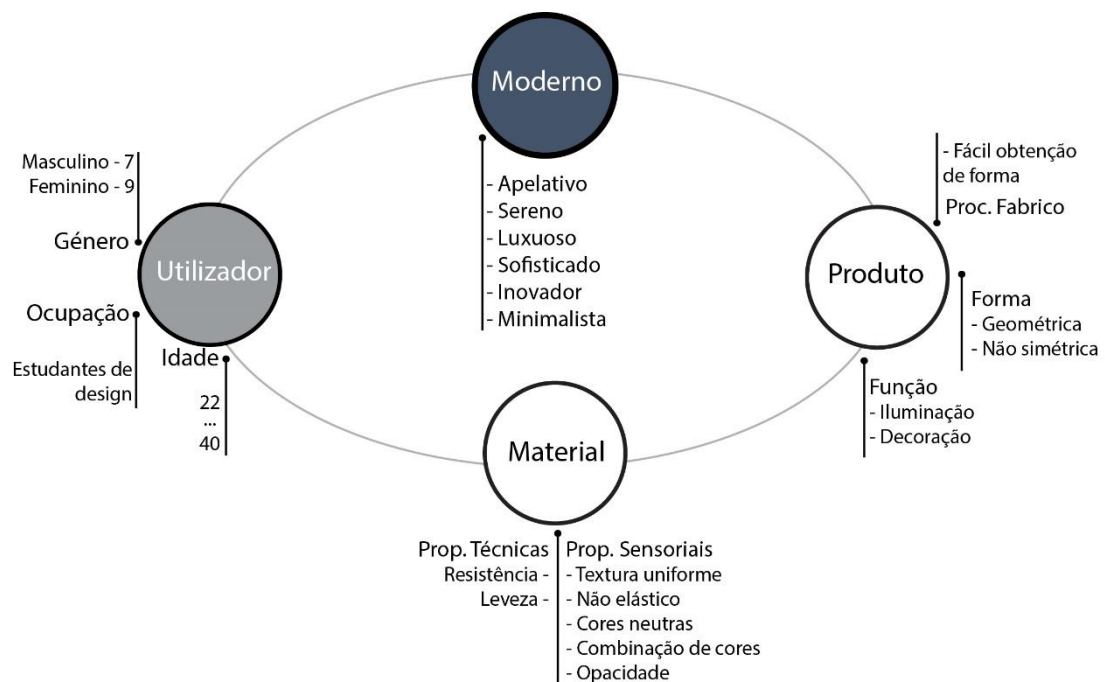


Figura 32 - Visualização do termo moderno segundo os participantes.

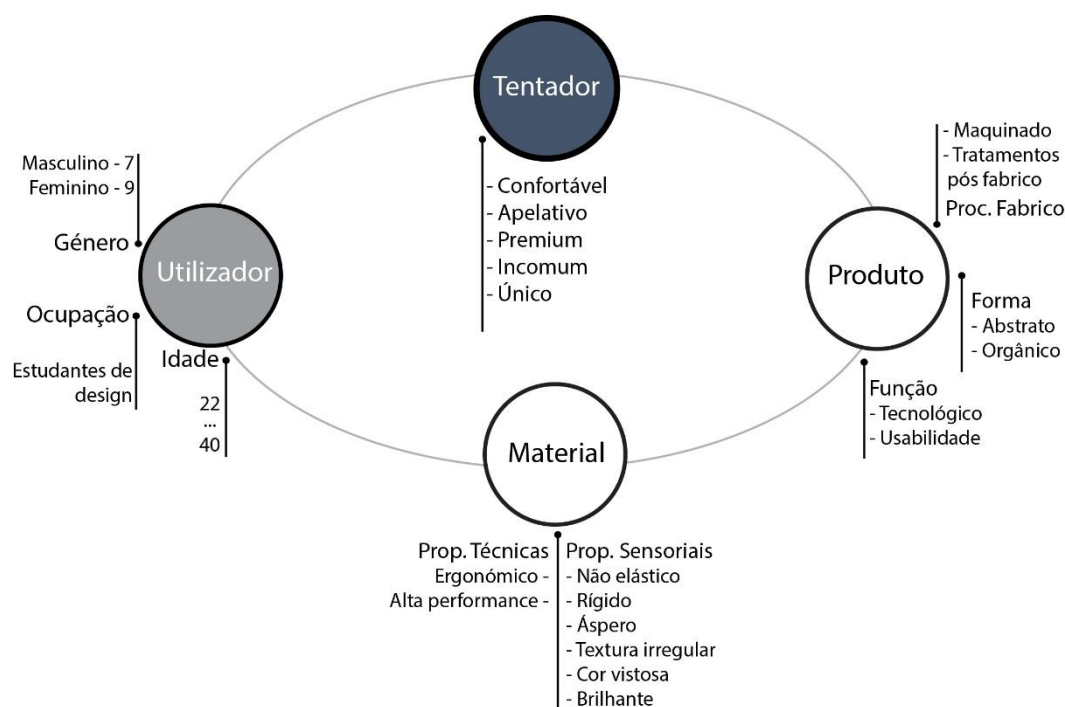


Figura 33 - Visualização do termo tentador segundo os participantes.

Da análise de todos os componentes resultantes do MDMS consegue-se fazer um resumo da interpretação dos participantes.

Moderno é um produto resistente, leve, sofisticado, inovador e minimalista que assume funções decorativas com formas geométricas, textura uniforme, cores neutras, uma certa opacidade e obtido de forma fácil, idealmente recorrendo apenas a um processo.

Tentador é um produto apelativo, incomum e ergonómico que assume funções de usabilidade e alta performance com formas orgânicas, textura irregular, cores vistosas, brilhante e obtido através de vários processos, incluindo acabamentos finais.

Apesar das restrições do material impossibilitarem a inserção de algumas das características concluídas, estas informações são valiosas para perceber a opinião do utilizador e serão consideradas para a criação de conceitos no último passo.

No questionário feito aos estudantes de design foi ainda introduzida uma última tarefa na qual os participantes elegeram a amostra preferida independentemente do termo (Figura 34) e é pedida a opinião sobre que potenciais aplicações se poderiam dar a este tipo de material compósito.



Figura 34 – Amostras mais votadas como preferidas segundo os participantes.

Estas escolhas juntamente com as informações anteriores ajudam a reforçar as principais características que as propostas deverão reunir. As amostras são caracterizadas principalmente por cores neutras e contrastantes, mas existem aspetos em conflito nomeadamente na textura que se apresenta tanto suave como grosseira, por isso, as escolhas terão de ser feitas consoante o efeito pretendido.

Quanto às potenciais aplicações, a maior parte dos participantes sugeriu as convencionais que já são dadas a produtos decorativos de rocha que são pavimentos exteriores e o revestimento de interiores de casas de banho e cozinhas, como lavatórios, bancadas, mesas e paredes. Isso poderá estar relacionado com o formato das amostras produzidas e utilizadas no questionário que se assemelham a azulejos influenciando algumas das respostas.

Alguns sugeriram aplicar o material em mobiliário urbano, lareiras, loiças e até mesmo em jogos de tabuleiro. Estes exemplos implicam questões de resistência à temperatura, contaminação alimentar ou resistência aos elementos naturais, por exemplo, nas quais a resina utilizada se demonstra problemática.

Outra sugestão recorrente foi a aplicação em vasos, que tanto podem ser decorativos como utilizáveis já que a baixa percentagem de absorção de água assim o permite. Objetos de iluminação foi também a escolha de alguns participantes reforçando as intenções que foram surgindo nos passos anteriores.

Passo 4: Criar conceitos de materiais/produtos

Este último passo serve para integrar e reunir todas as descobertas e conclusões dos passos anteriores de maneira a formar um conjunto de conceitos para a aplicação do material que está a ser estudado.

A translucidez observada em algumas amostras foi um dos aspetos que captou mais a atenção por ser uma característica pouco comum nas rochas e por isso é uma das principais vertentes a explorar na criação de conceitos. Para isso, deverão ser utilizados resíduos com granulometria grossa o suficiente para manter a transparência sem criar desagregações do compósito. A resina utilizada na fase experimental possui bastantes restrições quando exposta às radiações ultravioleta da luz natural e ao calor, por isso, poderá ser necessário utilizar outro tipo de resina. Apenas se requer que a resina seja transparente para manter as cores naturais das rochas e, claro, para não impedir a passagem de luz no que toca a aplicações de iluminação.

A aplicação do material visará objetos decorativos, visto que as propriedades mecânicas do material não permitem o fabrico de componentes estruturais. A absorção de água observada nos resultados dos ensaios foi o único aspeto equiparável ao das rochas no seu estado natural e por essa razão poderá ser implementada numa das propostas.

Reunindo as caracterizações dos termos moderno e tentador e tendo em conta as restrições impostas pelo material compósito percebe-se que existem alguns aspetos em conflito. Não poderão haver propostas que impliquem grande usabilidade e desgaste e como se pretende algo inovador e incomum, estão excluídas as sugestões mais convencionais. Deverão ser reunidos os aspetos com maior simbiose entre os termos definidos e as peças preferidas, que são, a aparência minimalista e apelativa com uma textura uniforme e minimamente grosseira de modo a ser facilmente identificável que se trata de um produto à base de rocha. O processo de moldação utilizado é bastante versátil, por isso, a forma obtida poderá variar desde geométrica a orgânica já que a mistura antes de curar se adapta facilmente à forma do molde. Outro aspeto bastante presente nos resultados do MDMS é a junção de cores, materiais e texturas que também deverá ser explorado na criação das propostas.

Propostas de aplicação

São apresentadas quatro propostas de aplicação do material desenvolvido, assim como, os conceitos por trás das mesmas, as relações com os resultados da metodologia, as observações feitas ao longo da fase experimental e alguns pormenores importantes relativamente ao processo de fabrico por moldação. Todas elas incluem a junção de outros materiais, sendo isso um fator relevante da interpretação dos moodboards, em alguns casos devido ao facto de implicar melhorias tanto a nível estético como a nível funcional no objeto. Para além disso, todas as propostas foram pensadas de forma a serem obtidas diretamente após o desmolde evitando que sejam necessários processos adicionais que criem novos desperdícios uma vez que isso contrariava todo o conceito de reaproveitamento de subprodutos.

Com inspiração na forma cónica do vulcão, um fenómeno da Natureza que dá origem ao recurso natural objeto deste estudo, uma das propostas é um candeeiro feito com a mistura de grãos de mármore e resina evidenciando o tema da translucidez, incomum às rochas. O candeeiro apresenta uma geometria simétrica, textura uniforme e uma aparência minimalista e serena devido à cor clara típica de um mármore (Figura 35).

Devido ao constante diâmetro interno e ao aumento do diâmetro externo, a parte inferior será mais pesada melhorando o equilíbrio da peça. O diâmetro interno deverá ser suficiente para albergar uma lâmpada e a mesma não poderá emitir calor, caso contrário, uma resina resistente à temperatura será necessária. É utilizada uma base de madeira, para evitar riscos e outros danos na superfície em contacto com o candeeiro, onde estarão alojados os componentes elétricos e o casquilho da lâmpada. A manutenção deverá ser facilitada, por isso, a componente do material compósito apresenta uma reentrância na sua base de modo a repousar na base de madeira sem se mover (desenhos e principais medidas no Anexo 4).

A mistura ideal será com a granulometria compreendida entre 1,18 mm e 2,36 mm e com a quantidade de resina de 10% tal como na amostra 14 pois os grãos de mármore neste calibre apresentam a translucidez pretendida e a mistura tem a agregação adequada para o efeito. A lâmpada não deve emitir calor para não degradar a resina.

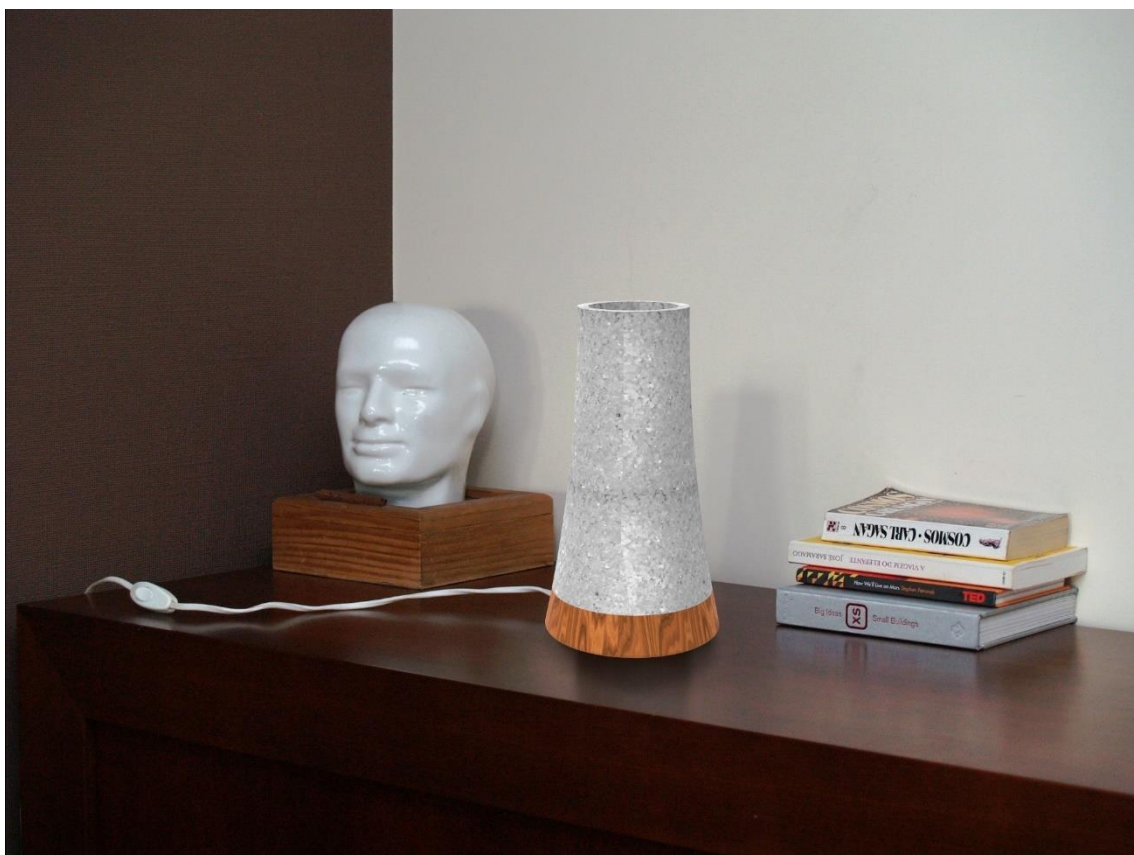


Figura 35 – Renders do candeeiro de mármore com base de madeira.

A baixa percentagem de absorção de água deste material compósito permite a sua aplicação em objetos que estejam sujeitos ao contacto com água ou humidade. A seguinte proposta parte dessa premissa e tem inspiração na estrutura em escada das pedreiras de onde as rochas naturais ornamentais são extraídas.

Os vasos da figura 36 possuem uma secção horizontal igual e alturas diferentes, o que permite obter vários tipos de conjuntos usando apenas estes dois vasos e tanto podem ser utilizáveis como apenas decorativos. Tiram partido da junção de diferentes texturas, observado na amostra 22, separadas por uma faixa de latão que contrasta com o aspeto opaco das rochas. A base destes vasos terá de ser coberta com uma película protetora de borracha para evitar danos na superfície onde são pousados.

A moldação é feita ao contrário para criar o interior oco, evitar a contra saída do fundo do vaso e o componente metálico nesta peça é colocado entre os vazamentos das diferentes misturas à altura desejada.



Figura 36 – Imagem de inspiração do conceito (Pinterest 2018) e renders de vasos constituídos por misturas de rochas diferentes.

A próxima proposta demonstra a versatilidade de objetos em que é possível introduzir o material desenvolvido e utiliza o conceito de uma amostra feita com a mistura de rochas diferentes cujo contraste evidencia as letras “UP”. É um exemplo da transmissão de mensagens possível de obter com a moldação do compósito no formato de letras ou, neste caso, números. Trata-se de um relógio feito com a mistura de grãos laminares de xisto, como na amostra 18, que concede um grande contraste de cores e textura em relação à madeira (Figura 37). Os componentes de madeira são colocados no molde antes do vazamento da mistura que irá preencher o resto do volume. Existem dois furos na componente de xisto, um para a conexão do mecanismo do relógio com os ponteiros de alumínio e o outro para pendurar na parede, que são perpendiculares à face do relógio e por isso possíveis de obter diretamente na moldação sem haver contra saídas.

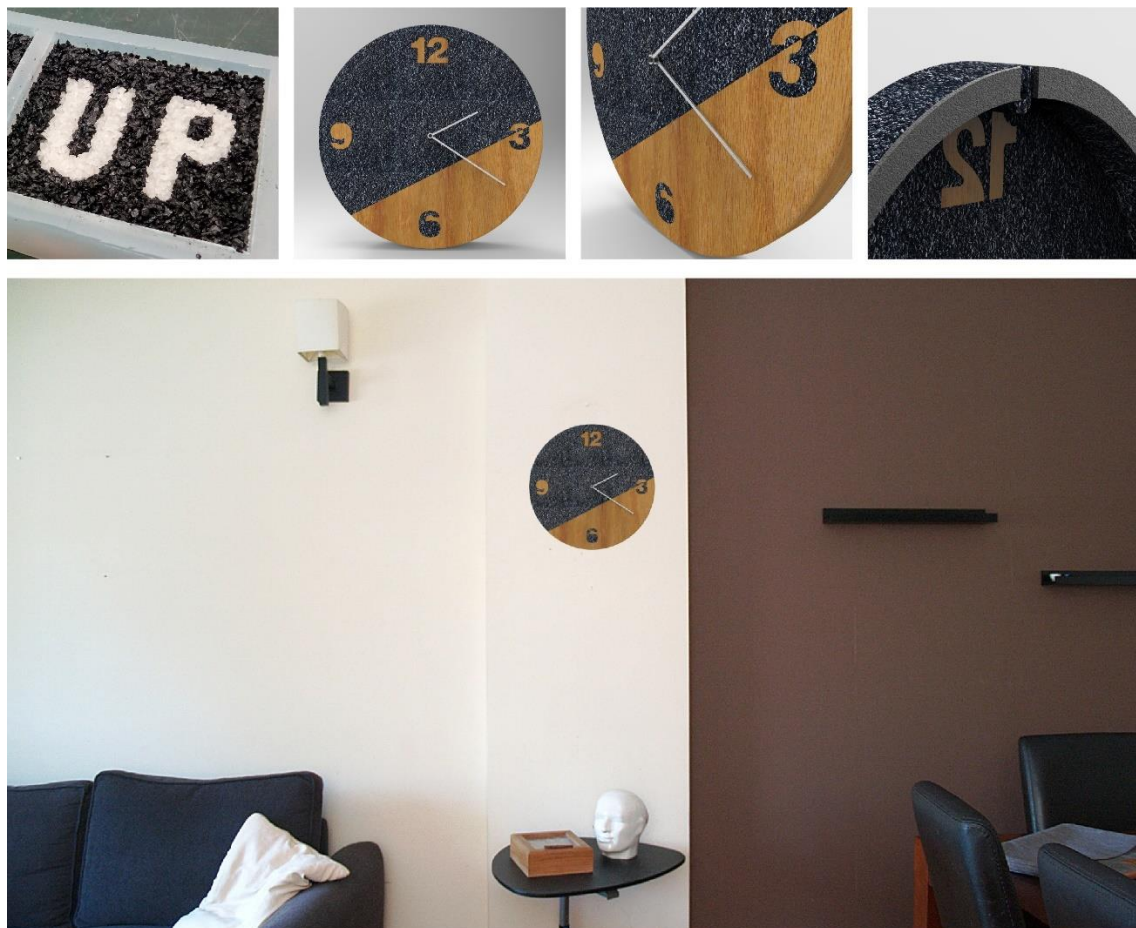


Figura 37 – Renders do relógio com xisto e madeira e amostra “UP” produzida com xisto e mármore.

A última proposta parte do princípio da amostra 21 de junção de rochas diferentes com a mesma granulometria, uma das favoritas segundo os participantes do questionário da metodologia, em sintonia com a percepção de profundidade que se tem ao observar paisagens de grande escala como uma cadeia de montanhas que dão forma a esta peça. Com uma base de madeira para proteger a superfície de contacto e dar estabilidade à peça estreita, este conjunto está dividido a meio podendo ser apenas decorativo ou com a função de ser um suporte para livros. Esta função reforça o conceito da paisagem de montanha do objeto tal como é ilustrado na figura 38.

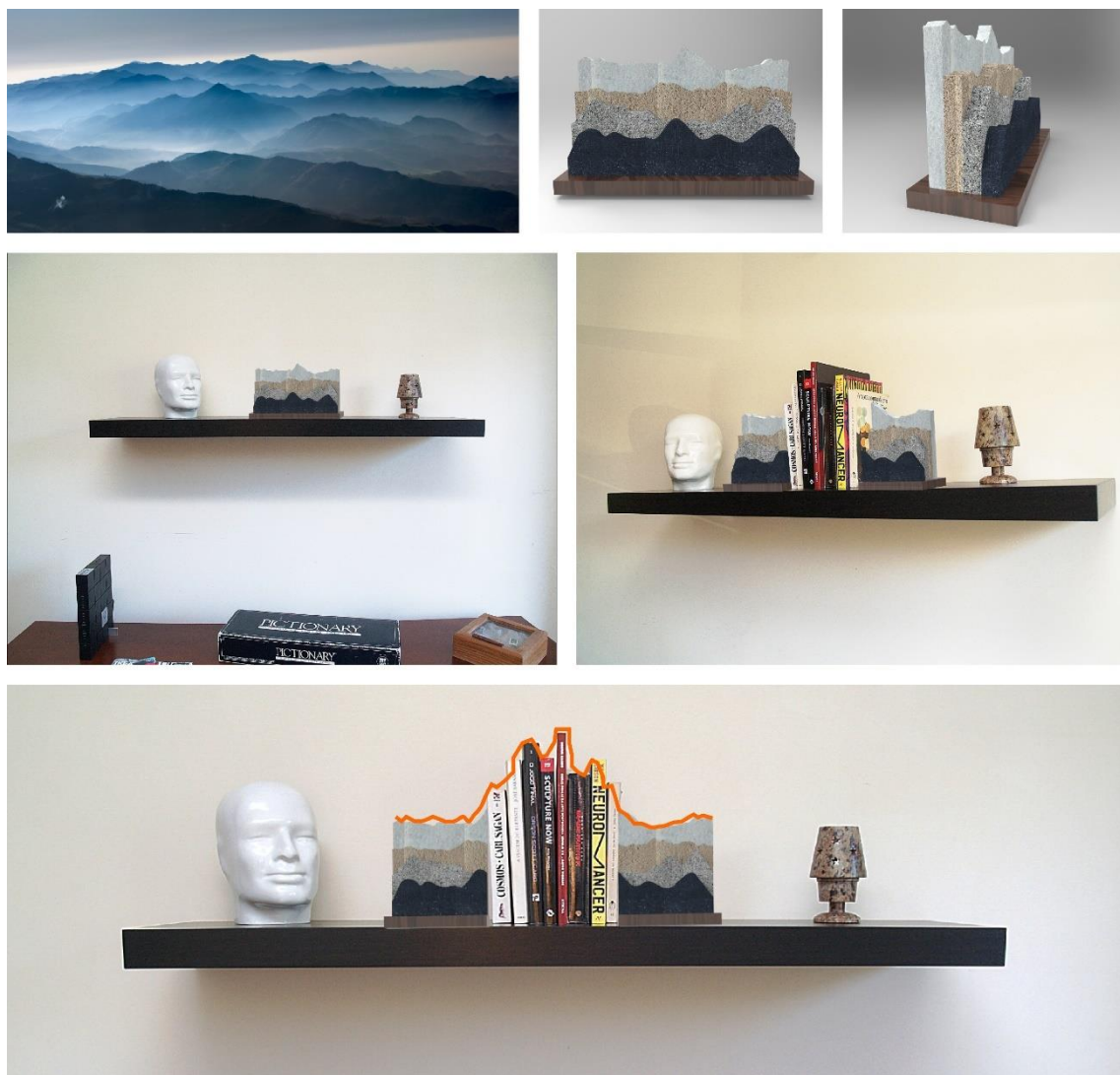


Figura 38 – Imagem de inspiração do conceito (Ikeda 2016) e renders do suporte para livros.

5. Proposta de processo de fabrico

O processo de fabrico a utilizar para a criação de objetos com o material desenvolvido será o processo de moldação uma vez que a mistura se apresenta demasiado fluida para ser incutida a geometria pretendida de outra maneira. Embora não seja estritamente necessário para obter produtos com uma boa qualidade, o ideal seria utilizar vibração aquando do vazamento da mistura no molde, para evitar vazios principalmente com grãos de maior dimensão, e movimento de rotação, para uma cura dinâmica durante o tempo de cura da resina, de modo a melhorar a homogeneidade das peças finais.

Todas as peças fabricadas no decorrer deste trabalho foram feitas apenas com três partes: os diferentes resíduos de rocha, a resina epoxy de baixa viscosidade e o catalisador que endurece a mistura. Isso resultou em tempos de cura de 24h e a necessidade de pós-cura num forno, o que a nível industrial não se demonstra plausível. O tempo de cura pode ser diminuído com a inserção de um agente acelerador na mistura para um maior rendimento dos moldes utilizados e o desmolde pode ser facilitado com a aplicação de um agente desmoldante na área de contacto do molde com as peças.

Aqui é apresentada uma proposta de processo de fabrico do candeeiro de mesa, pensado no capítulo anterior, de maneira a ser obtido diretamente do molde sem necessitar de processos adicionais. Este serve de exemplo para o processo de moldação pensado para todos os produtos feitos com este material, embora cada um possua detalhes próprios, dependendo da sua geometria, no que toca a evitar contra saídas ou mesmo um bom preenchimento do molde.

Os elementos da mistura são escolhidos com percentagens exatas de resíduos, resina, catalisador e acelerador e depositados num recipiente de mistura automática (1). Após feita a mistura e aplicado o desmoldante, é vazada a quantidade exata no molde (2) que possui uma placa amovível que molda o rebordo da peça e necessita de ser retirada na altura do desmolde. Uma mesa vibratória (3) garante que todo o molde é preenchido e uma tampa é colocada no molde de modo a impedir que a mistura escape durante o movimento rotacional da cura dinâmica (4). Finalmente procede-se ao desmolde da peça completamente finalizada retirando a tampa e a placa amovível (5) (Figura 39).

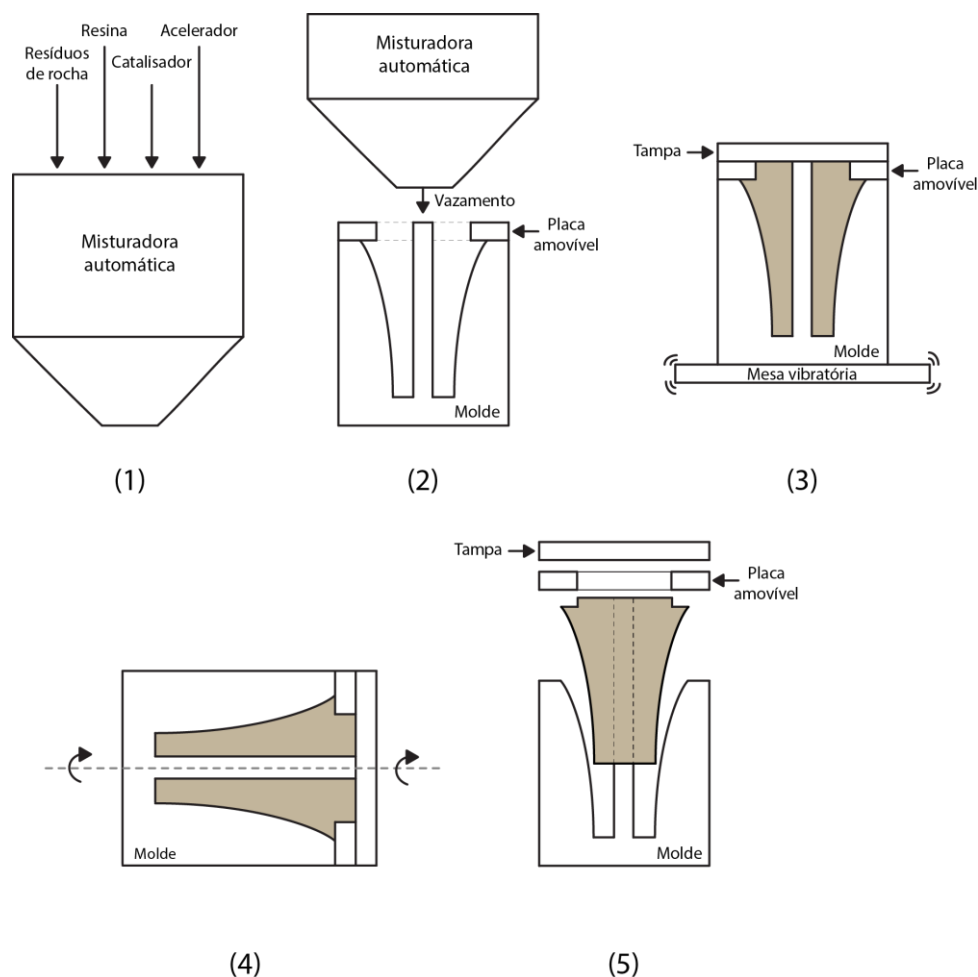


Figura 39 – Ilustração da proposta de processo de fabrico para o candeeiro.

Protótipo

De maneira a conseguir transmitir com maior clareza o efeito pretendido de translucidez e iluminação para a proposta do candeeiro foi construído um protótipo funcional do mesmo.

Para tal foi utilizado como molde duas secções de uma placa de esferovite sobrepostas e esculpidas manualmente, com um x-ato, um bisturi e uma lixa, atingindo um negativo de metade da peça com dimensões equivalentes a dois terços das dimensões originais. Um pedaço de tubo restante do fabrico dos provetes normalizados foi utilizado como contramolde criando um oco nas duas metades da peça para albergar a lâmpada quando juntas. Foi escolhida uma gama de tamanhos de grão maior pois são ideais para a permeabilidade à luz, por isso, a mistura foi preparada com grãos de mármore de

dimensões compreendidas entre 1,18mm e 3,35mm e com 10% de resina para uma massa de 1000g de resíduos rochosos. O molde e o contramolde foram forrados com papel vegetal que fez o papel de desmoldante e a mistura foi vazada cuidadosamente e com algumas agitações para preencher bem a cavidade (Figura 40).

O resultado final não conseguiu transmitir na totalidade a geometria pretendida para esta peça devido à baixa fidelidade do material do molde e das habilidades de escultura. Ainda assim, após testar com uma base de madeira reutilizada de outro candeeiro foi possível apreciar uma versão funcional do candeeiro imaginado (Figura 41).

Algumas retificações foram feitas aos topos de cada metade com uma serra de metal para melhorar a estabilidade, o que vai contra a ideia de zero desperdícios especificada nas propostas de aplicação, mas não serve de exemplo sendo este um protótipo para efeitos de apresentação.

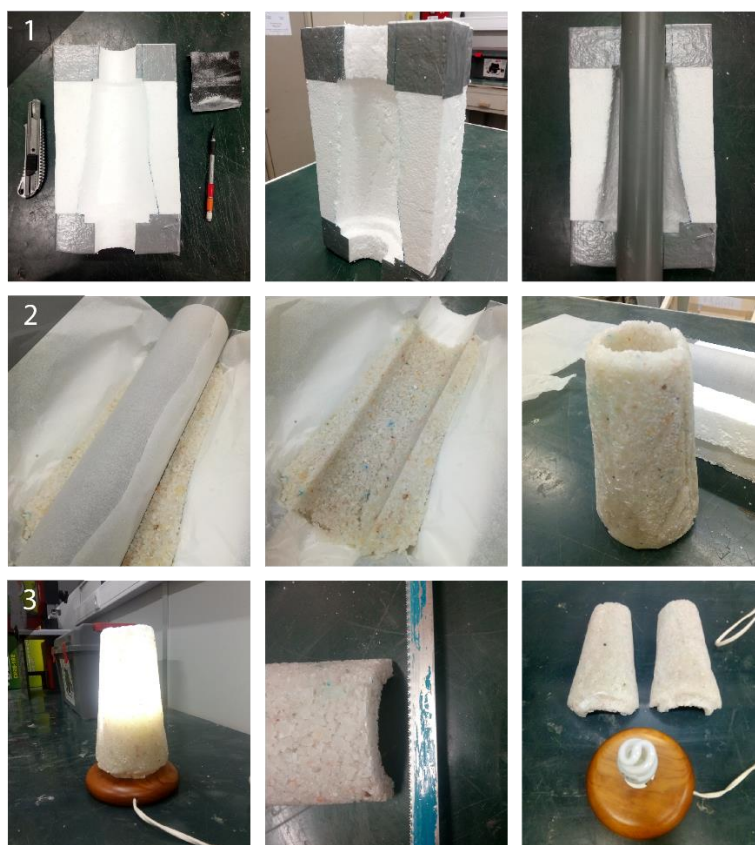


Figura 40 – Construção do protótipo: (1) obtenção do molde, (2) vazamento no molde coberto por papel vegetal e (3) teste e retificação das peças obtidas.



Figura 41 – Protótipo exibido com e sem luz.

6. Conclusão

A exploração e extração de recursos naturais é uma das indústrias mais importantes para a existência e contínuo desenvolvimento do ser humano, e como tal vai continuar a existir, perspetivando-se mesmo um aumento da procura por estes recursos. Consequentemente continuarão a ser geradas elevadas quantidades de desperdícios que, mesmo com uma boa gestão de todo o processo de extração, não é aproveitada.

A utilização dos resíduos para incorporação em diferentes produtos é hoje em dia uma realidade, contudo as percentagens de utilização são ainda extremamente baixas. Com este trabalho pretendeu-se desenvolver compósitos, baseados em diferentes partículas de xisto, mármore, calcário, ardósia, granito e resina epoxídica. Com essas partículas foram testadas misturas com diferentes percentagens de resina de onde surgiram amostras com variadas características, importantes para uma melhor perceção do material compósito e para a metodologia de design utilizada.

Os resultados obtidos em termos de propriedades mecânicas são inferiores aos das rochas mãe, o que limita a sua utilização em aplicações estruturais, no entanto, abre a oportunidade para a criação de objetos decorativos. Neste sentido foram apresentadas quatro propostas de artefactos em que se joga com a translucidez e iluminação e com a junção de diferentes materiais, cores e texturas. Dessas propostas foi fabricado um protótipo funcional do candeeiro, visto que a translucidez foi uma das características mais apreciadas do material resultante.

O trabalho desenvolvido cria uma oportunidade para o fabrico de peças decorativas, valorizando o círculo económico das rochas naturais, e estabelece-se como um pequeno contributo para a redução dos impactos ambientais provocados pelos desperdícios gerados na exploração e extração de recursos naturais.

Com base neste estudo foi ainda elaborado um artigo para participação na XIX Convenção Científica em Engenharia e Arquitetura, a realizar-se no Centro de Conferência Internacional de Havana de 26 de Novembro a 30 de Novembro de 2018.

Limitações e sugestões futuras

O trabalho realizado e os respectivos resultados obtidos viram-se limitados por algumas razões. A resina epoxy de baixa viscosidade foi utilizada por ter sido a que estava disponível para a realização da fase experimental, no entanto, outras resinas com melhores propriedades, como resistência ao calor e às radiações UV dependendo do efeito pretendido, poderiam ter sido usadas.

Os ensaios mecânicos de flexão, compressão, absorção de água e massa volúmica aparente foram conduzidos apenas em provetes com duas variações da quantidade de resina. A quantidade de provetes necessários para cada ensaio resultou num grande número, o que juntamente com o elevado tempo de cura dos provetes e com a impossibilidade de fazer mais do que três provetes de cada vez, no caso das placas para o ensaio de flexão, fizeram com que fosse preciso reduzir no número de variáveis a testar.

Por isso, propõem-se como futuros objetos de estudo a ampliação de variáveis a analisar, quer isto dizer, testar provetes fabricados com menores e mais frequentes intervalos de percentagem de resina, experimentar com ligantes diferentes, realizar ensaios diferentes como de resistência ao choque, resistência ao desgaste, resistência a raios UV em ambiente externo e analisar o compósito quanto ao grau de degradação e ao seu comportamento em junção com outros materiais.

Referências bibliográficas

- archiproducts. 2018. «M&D». 2018.
https://www.archiproducts.com/en/products/franchiumbertomarmi/marble-fountain-m-d_186473.
- Bedrosians. 2017. «How natural stone is made». 2017. <https://www.bedrosians.com/en/how-its-made-stone/>.
- Boger, David V. 1998. «Environmental rheology and the mining industry». Em *AusIMM '98, the mining cycle : 19-23 April 1998, Mount Isa, Queensland*. Carlton, Vic. : Australasian Institute of Mining and Metallurgy, c1998.
- Brown, T J. 2014. *World mineral production 2008-2012*,. *British geological survey*.
- Castro-Gomes, J. P., Abílio P. Silva, Rafael P. Cano, J. Durán Suarez, e A. Albuquerque. 2012. «Potential for reuse of tungsten mining waste-rock in technical-artistic value added products». *Journal of Cleaner Production* 25. Elsevier Ltd:34–41. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.11.064>.
- Celik, Mustafa Yavuz, e Eyup Sabah. 2008. «Geological and technical characterisation of Iscehisar (Afyon-Turkey) marble deposits and the impact of marble waste on environmental pollution» 87:106–16. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2007.01.004>.
- Cosentino. 2017a. «About Cosentino». 2017. <https://www.cosentino.com/cosentino/>.
- . 2017b. «Discover Dekton». 2017. <https://www.cosentino.com/dekton/>.
- . 2017c. «Discover Silestone». 2017. <https://www.cosentino.com/en-gb/silestone/>.
- CosentinoTV. 2013. «Silestone Manufacturing Process (English)». 2013. <https://www.youtube.com/watch?v=-Pfi2cen-wE&t=247s>.
- . 2016. «How Dekton is made? (EN)». 2016. <https://www.youtube.com/watch?v=R2FnhX6Fa4U>.
- Costa, Ruben. 2017. «Junta». 2017. <http://green.fibrenamics.com/junta>.
- Dhar, B.B., e D.N. Thakur. 1996. *Mining Environment*. CRC Press.
- Ergün, Ali. 2011. «Effects of the usage of diatomite and waste marble powder as partial replacement of cement on the mechanical properties of concrete». *Construction and Building Materials* 25 (2):806–12. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.07.002>.
- Ferreira, Bruno. 2017. «Matteo Lamp». 2017. <http://green.fibrenamics.com/matteo-lamp>.
- Fibrenamics, e CVR. 2017a. «Modelo Demonstrador - Fibre». 2017. <http://green.fibrenamics.com/modelos-demonstradores-fibre>.
- . 2017b. «Modelo Demonstrador - Mineral». 2017. <http://green.fibrenamics.com/modelos-demonstradores-mineral>.
- . 2017c. «Modelo Demonstrador - Plastic». 2017. <http://green.fibrenamics.com/modelos-demonstradores-plastic>.

- . 2017d. «Modelo Demonstrador - Wood». 2017. <http://green.fibrenamics.com/modelos-demonstradores-wood>.
- . 2017e. «Sobre: Fibrenamics Green». 2017. <http://green.fibrenamics.com/sobre>.
- Förstner, Ulrich. 1999. *Environmental Impacts of Mining Activities*. Editado por José M. Azcue. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-59891-3>.
- Fraser Institute. 2012. «How are waste materials managed at mine sites?» 2012. <http://www.miningfacts.org/Environment/How-are-waste-materials-managed-at-mine-sites/>.
- Germanischer Lloyd. 2014. «Biresin® CR83 Composite resin system».
- Gramazio, Fabio, Matthias Kohler, Skylar Tibbits, Andreas Thoma, Petrus Aejmelaesus-lindström, Volker Helm, Sara Falcone, et al. 2015. «3D printed rock installation built by robots at the chicao architecture biennial». *designboom*, 2015. <https://www.designboom.com/architecture/chicago-architecture-biennial-3d-robotic-rock-print-gramazio-kohler-eth-zurich-self-assembly-lab-mit-10-02-2015/>.
- Hagemann, Sabrina Elicker. 2011. «Materiais de Construção Básicos». Universidade Aberta do Brasil, Instituto Federal Sul-Rio-Grandense.
- Hane, Ibrahima, Tikou Belem, Mostafa Benzaazoua, e Abdelkabar Maqsoud. 2017. «Laboratory Characterization of Cemented Tailings Paste Containing Crushed Waste Rocks for Improved Compressive Strength Development». *Geotechnical and Geological Engineering* 35 (2):645–62. <https://doi.org/10.1007/s10706-016-0131-6>.
- Hudson-Edwards, Karen A., Heather E. Jamieson, e Bernd G. Lottermoser. 2011. «Mine wastes: Past, present, future». *Elements* 7 (6):375–80. <https://doi.org/10.2113/gselements.7.6.375>.
- Ikeda, Daisaku. 2016. «A quiet revolution». 2016. <https://quietrevo.wordpress.com/2016/10/25/open-letter-to-ex-johor-region-chief/comment-page-1/>.
- Jardins & Afins. 2014. «Terraway - pavimentos permeáveis». 2014. <http://terraway.com/>.
- K., Jain Ravi, (Cindy) Cui Zengdi, e Domen Jeremy K. 2016. «Preface». Em *Environmental Impact of Mining and Mineral Processing*, editado por Ravi K Jain, Zengdi “Cindy” Cui, e Jeremy K Domen, ix–x. Boston: Butterworth-Heinemann. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804040-9.05001-4>.
- Karana, Elvin, Bahareh Barati, Valentina Rognoli, e Anouk Zeeuw Van Der Laan. 2015. «Material driven design (MDD): A method to design for material experiences». *International Journal of Design* 9 (2):35–54.
- Karana, Elvin, Paul Hekkert, e Prabhu Kandachar. 2010. «A tool for meaning driven materials selection». *Materials and Design* 31 (6). Elsevier Ltd:2932–41. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2009.12.021>.
- Laboratório Nacional de Energia e Geologia. 2002. «Catálogo de Rochas Ornamentais Portuguesas». 2002. <http://rop.lneg.pt/rop/FormProduto.php>.
- Larsen, Esben, Karsten Bjerring Olsen, e Victor Emanouilov. 2018. «Depletion of natural resources statistics». 2018. http://www.theworldcounts.com/counters/environmental_effect_of_mining/depletion_

of_natural_resources_statistics.

- Li, Li, e Thomas Pabst. 2016a. «Co-disposal of mine tailings and waste rocks in open pits: assessment of a new integrated mine waste management approach for surface mines». Research Institute on Mines and Environment - Research Projects. 2016. <http://www.irme.ca/en/research-projects/916>.
- . 2016b. «Valorization of waste rocks on mining sites». Research Institute on Mines and Environment - Research Projects. 2016. <http://www.irme.ca/en/research-projects/914>.
- Liao, B, L N Huang, Z H Ye, C Y Lan, e W S Shu. 2007. «Cut-off Net Acid Generation PH in Predicting Acid-Forming Potential in Mine Spoils». *Journal of Environmental Quality* 36. Madison, WI: American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society:887–91. <https://doi.org/10.2134/jeq2006.0420>.
- Lottermoser, Bernd. 2010. *Mine Wastes: Characterization, Treatment and Environmental Impacts*.
- Maboeta, M S, e L van Rensburg. 2003. «Bioconversion of Sewage Sludge and Industrially Produced Woodchips». *Water, Air, and Soil Pollution* 150 (1):219–33. <https://doi.org/10.1023/A:1026193110198>.
- Marmo Muller. 2014. «Granitos». 2014. <http://www.marmomuller.com.br/produtos/1/granitos>.
- Montani, Dr. Carlo. 2014. «Dr. Carlo Montani's XXVI Report marble and stones in the world: stone branch in sustained bull market». 2014. <https://www.stone-ideas.com/46295/dr-carlo-montanis-xxvi-report-marble-and-stones-in-the-world-stone-branch-in-sustained-bull-market/>.
- Monteiro, Renata. 2018. «Dos restos em pó da ardósia criou-se um novo material sustentável». *Público*, 16 de Abril de 2018. <http://p3.publico.pt/node/25918>.
- Natural Stone Council. 2003. «Why Use Genuine Stone?» 2003. <http://naturalstonecouncil.org/about-natural-stone/why-use-genuine-stone/>.
- Organisation for Economic Co-operation and Development. 2008. *OECD Environmental Outlook to 2030*.
- outdoorartPROS. 2016. «Recife Garden Water Fountain». 2016. <https://www.outdoorartpros.com/collections/cast-stone-fountains/products/recife-garden-water-fountain>.
- Parkin, J., e M. Weaver. 2015. «Grand Challenges for earth resources engineering». *Inside O.R.* 2010 (November 2012).
- Pedras & Polimentos. 2017. «Granitos, Mármore, Sintéticos e outros». 2017. <https://www.pedrasepolimentos.com.br/materiais>.
- Pinterest. 2018. «Página principal». 2018. <https://www.pinterest.pt/>.
- Polon, Luana. 2018. «Tipos de rochas». 2018. <https://www.estudopratico.com.br/tipos-de-rochas/>.
- Porto Editora. 2017. «desperdícios». Artigos de apoio Infopédia. 2017. [https://www.infopedia.pt/apoio/artigos/\\$desperdicios](https://www.infopedia.pt/apoio/artigos/$desperdicios).
- Pure Earth. 2016. «The World's Most Polluting Industries». 2016. <https://www.worldatlas.com/articles/the-top-10-polluting-industries-in-the-world.html>.

- Regadas, Pedro. 2017. «Dress Your Pans». 2017. <http://green.fibrenamics.com/dress-your-pans>.
- Ribau, Carlos. 2017. «Kort». 2017. <http://green.fibrenamics.com/kort>.
- Saunders, Sarah. 2017. «3D Print with Stone: Formfutura Announces StoneFil Filament». 3D Printing, 3D Printing Materials. 2017. <http://treedfilaments.com/3d-printing-filaments/>.
- Schrenk, Steven. 2016. «The original green building material, just how sustainable is natural stone?» Blog: From the bedrock. 2016. <http://blog.polycor.com/the-original-green-building-material-just-how-sustainable-is-natural-stone>.
- Shirazi, Elham Khalilzadeh. 2011. «Reusing of stone waste in various industrial activities». *2nd International Conference on Environmental Science and Development IPCBEE* 4:217–19.
- Soeiro, Sónia. 2017. «Facet Stool». 2017. <http://green.fibrenamics.com/facet-stool>.
- Song, T H, S H Lee, e B Kim. 2014. «Recycling of crushed stone powder as a partial replacement for silica powder in extruded cement panels». *Construction and Building Materials* 52 (Supplement C):105–15. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.10.060>.
- TH-PAV. 2017. «Marmo Drain - pavimentos de drenagem decorativos». 2017. <http://www.th-pav.it/index.php/pavimentazioni-drenanti-decorative>.
- The World Counts. 2018. «Effect of gold mining on the environment». 2018. http://www.theworldcounts.com/counters/environmental_effect_of_mining/effect_of_gold_mining_on_the_environment.
- TreeD. 2018. «3D Printing Filaments». 2018. <http://treedfilaments.com/3d-printing-filaments/>.
- UKCSA. 2017a. «About Cast Stone». 2017. <https://ukcsa.co.uk/about-cast-stone.php>.
- . 2017b. «Semi-Dry, Wet-Cast or Fibre Reinforced Cast Stone?» 2017. <https://ukcsa.co.uk/technical/semi-dry-wet-cast-FRCS.php>.
- University of Tennessee, e Center for Clean Products. 2008. «Granite Dimension stone Quarrying and Processing: A Life-Cycle Inventory». *The Natural Stone Council*, n. August:1–25; University of Tennessee Center for Clean Pr.
- University of Tennessee, e Center for Clean Products. 2011. «Best Practices of the Natural Stone Industry - Solid Waste Management at the Quarry and Fabrication Facility». *The Natural Stone Council* 2009:0–11.
- UQAT-Polytechnique, e Polytechnique Montréal. 2013. «RIME UQAT-Polytechnique, a research program in Quebec». 2013. <http://www.irme.ca/en/>.
- Zoran, M, R Savastru, D Savastru, M N M Tautan, Sorin Miclos, D C Dumitras, e T Julea. 2010. «Optospectral techniques for mining waste characterization in Baia Mare region, Romania». *Journal of Optoelectronics and Advanced Materials* 12:159–64.

Anexos

Anexo 1 – Ficha técnica da resina

Product Data Sheet
Version 05 / 2017

Biresin® CR83 Composite resin system

Product Description

Biresin® CR83 is an epoxy resin system with extremely low viscosity designed specifically for the infusion process for the production of high performance fibre reinforced composites parts and moulds. The system has thermal properties up to 80°C. Biresin® CR83 epoxy resin has a low tendency to crystallise.

Application Areas

Biresin® CR83 is especially suited to the infusion and injection processes due to its low viscosity range. It can be used in the marine and general industrial composite areas. Due to its good wetting properties it is particularly suited for use with carbon fibre reinforcement.

Features / Advantages

- 3 hardeners (B) give a wide range of processing times
- The reactivity can be adapted by mixing the hardeners
- Fast infusion and good wet-out of fabrics and non-wovens due to low viscosity and good wetting characteristics even at low temperatures
- All systems Germanischer Lloyd approved, Certificate No. WP 1420017 HH (attached)
- Glass transition temperatures up to 80°C dependent on curing conditions
- Carbon fibres are wet out well by all of the resin systems
- Biresin® CR83 resin (A) has a low tendency to crystallise

Physical Data		Resin (A)		Hardener (B)	
Individual Components		Biresin® CR83	Biresin® CH83-2	Biresin® CH83-6	Biresin® CH83-10
Mixing ratio, parts by	weight	100	30		
Mixing ratio, parts by	volume	100	36		
Colour		translucent	colourless to yellowish		
Viscosity, 25°C	mPa.s	~610	<10	<10	< 10
Density, 25°C	g/ml	1.14	0.95	0.94	0.95
		Mixture			
Potlife, 100 g / RT, approx. values	min	60	180	300	
Mixed viscosity, 25°C, approx. values	mPa.s	155	170	155	

Processing

- The material and processing temperatures should be in the range 18 - 35°C.
- The mixing ratio must be followed accurately to obtain best results. Deviating from the correct mix ratio will lead to lower performance.
- The final mechanical and thermal values are dependent on the applied postcuring cycles.
- It is recommended to clean brushes or tools immediately after use with Sika Reinigungsmittel 5.
- Additional information is available in "Processing Instructions for Composite Resins".

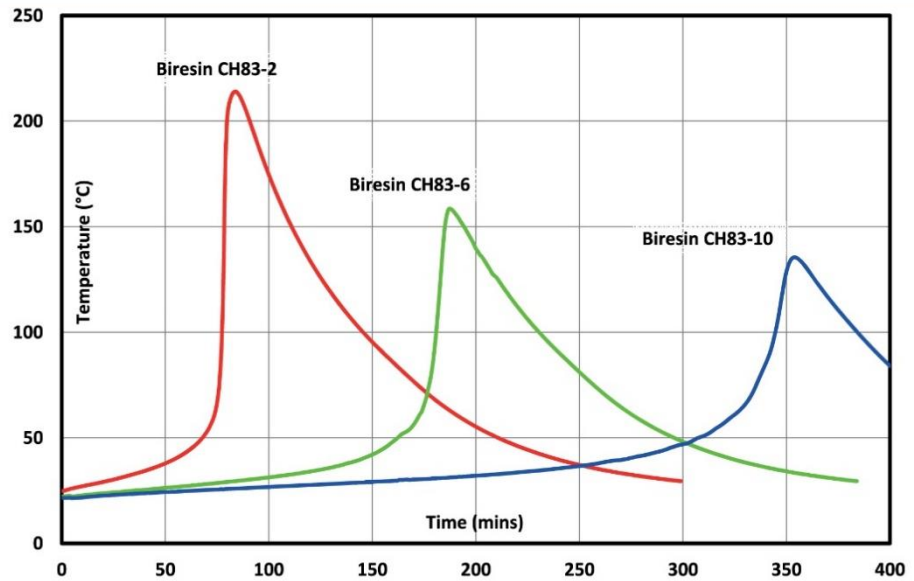
Biresin® CR83 1 / 4



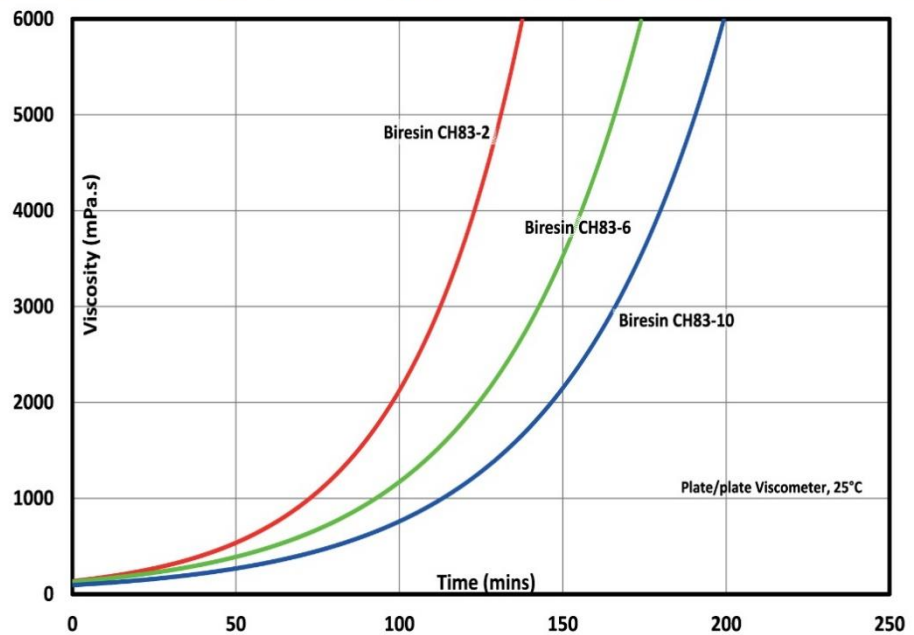
BUILDING TRUST



Development of Exotherm of Biresin® CR83-Resin (A)-Hardener (B)-Mixtures, 100g / RT, insulated



Development of Viscosity of Biresin® CR83 (A)-Resin-Hardener (B)-Mixtures, 25°C



Biresin® CR83 2 / 4



BUILDING TRUST



Postcuring

The suitable cure cycle and the attainable mechanical and thermal values depend on various factors, such as laminate thickness, fibre volume, reactivity of the resin system etc.

An appropriate cure cycle could look as follows:

- Heat-up rate of ca. 0.2°C/Minute until approx. 10°C below the required glass transition temperature (T_g)
- Followed by a dwell at that temperature of between 2 and 12 hours.
- Part(s) should then be cooled at ~0.5°C per minute

The specific postcure should be adapted to the required technical and economic requirements.

To measure the mechanical performance of the resin system a SikaAxson standard cycle is used to ensure that the full T_g potential of the system in question is reached.

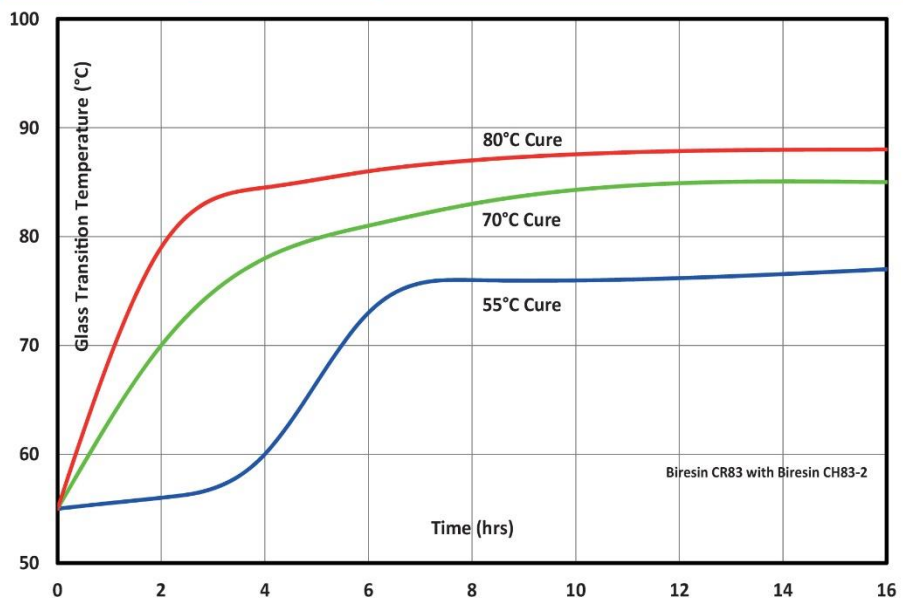
Typical Mechanical Properties of Fully Cured Neat Resin

Biresin® CR83 resin (A)	with hardener (B) Biresin®	CH83-2	CH83-6	CH83-10
Tensile strength	ISO 527 MPa	84	91	86
Tensile E-Modulus	ISO 527 MPa	2,960	3,200	3,100
Elongation at break	ISO 527 %	6.7	8.4	7.9
Flexural strength	ISO 178 MPa	129	134	131
Flexural E-Modulus	ISO 178 MPa	3,125	3,360	3,340
Compressive strength	ISO 604 N/mm²	107	111	109
Density	ISO 1183 g/cm³	1.15	1.15	1.15
Shore-hardness	ISO 868	D 85	D 85	D 85
Impact resistance	ISO 179 kJ/m²	93	84	83

Typical Thermal Properties of Fully Cured Neat Resin

Biresin® CR83 resin (A)	with hardener (B) Biresin®	CH83-2	CH83-6	CH83-10
Heat distortion temperature	ISO 75B °C	79	79	78
Glass transition temperature	ISO 11357 °C	84	80	81

Glass Transition Temperature vs. Cure Cycle



The test specimens were produced from 3 mm thick pure resin. Before the above postcuring, the samples were cured for 7 days at 23°C. When curing a composite part, the whole of the part (including the very middle of the laminate) needs to see the cure temperature.

Packaging (net weight, kg)

Biresin® CR83 resin (A)	1,000	200		10
Biresin® CH83-2 hardener (B)		180	20	3.0
Biresin® CH83-6 hardener (B)		180	20	3.0
Biresin® CH83-10 hardener (B)		180	20	3.0

Storage

- Minimum shelf life of Biresin® CR83 resin (A) is 24 month and of Biresin® CH83-2, CH83-6 and CH83-10 hardeners (B) is 12 month under room conditions (18 - 25°C), when stored in original unopened containers.
- The tendency to of crystallise with this system is very low. However, if crystallisation of the resin (A) component appears, it can be easily removed by warming up the resin for a sufficient time to at least 60°C.
- Containers must be closed tightly immediately after use. The residual material needs to be used up as soon as possible.

Health and Safety Information

For information and advice on the safe handling, storage and disposal of chemical products, users shall refer to the most recent Safety Data Sheet (SDS) containing physical, ecological, toxicological and other safety related data.

Disposal considerations

Product Recommendations: Must be disposed of in a special waste disposal unit in accordance with the corresponding regulations.

Packaging Recommendations: Completely emptied packagings can be given for recycling. Packaging that cannot be cleaned should be disposed of as product waste.

Value Bases

All technical data stated in this Product Data Sheet are based on laboratory tests. Actual measured data may vary due to circumstances beyond our control.

Legal Notice

The information, and, in particular, the recommendations relating to the application and end-use of Sika products, are given in good faith based on Sika's current knowledge and experience of the products when properly stored, handled and applied under normal conditions in accordance with Sika's recommendations. In practice, the differences in materials, substrates and actual site conditions are such that no warranty in respect of merchantability or of fitness for a particular purpose, nor any liability arising out of any legal relationship whatsoever, can be inferred either from this information, or from any written recommendations, or from any other advice offered. The user of the product must test the product's suitability for the intended application and purpose. Sika reserves the right to change the properties of its products. The proprietary rights of third parties must be observed. All orders are accepted subject to our current terms of sale and delivery. Users must always refer to the most recent issue of the local Product Data Sheet for the product concerned, copies of which will be supplied on request.

Further information available at:

Sika Deutschland GmbH

Subsidiary Bad Urach

Stuttgarter Str. 139

D - 72574 Bad Urach

Germany

Tel: +49 (0) 7125 940 492

Fax: +49 (0) 7125 940 401

Email: tooling@de.sika.com

Internet: www.sika.com



BUILDING TRUST



Anexo 2 – Resultados do MDD

Moderno	2	1	0	-1	-2	
Opaco	11	2	1	2	0	Transparente
Não refletor	6	5	1	4	0	Refletor
Mate	3	5	2	5	1	Brilhante
Não elástico	15	1	0	0	0	Elástico
Leve	3	2	7	4	0	Pesado
Resistente	3	6	3	2	2	Delicado
Rígido	11	5	0	0	0	Dúctil
Macio	1	6	3	3	3	Áspero
Forte	5	5	2	3	1	Frágil
Frio	2	5	6	3	0	Quente

Opaco	1,4	Transp.
Não refletor	0,8	Refletor
Mate	0,3	Brilhante
Não elástico	1,9	Elástico
Leve	0,3	Pesado
Resistente	0,4	Delicado
Rígido	1,7	Dúctil
Macio	-0,1	Áspero
Forte	0,6	Frágil
Frio	0,4	Quente

Tentador	2	1	0	-1	-2	
Opaco	7	5	1	3	0	Transparente
Não refletor	7	3	3	3	0	Refletor
Mate	2	2	3	8	1	Brilhante
Não elástico	16	0	0	0	0	Elástico
Leve	3	5	4	3	1	Pesado
Resistente	3	2	4	6	1	Delicado
Rígido	13	2	1	0	0	Dúctil
Macio	1	0	1	7	7	Áspero
Forte	3	6	2	4	1	Frágil
Frio	2	8	5	1	0	Quente

Opaco	1,0	Transp.
Não refletor	0,9	Refletor
Mate	-0,3	Brilhante
Não elástico	2,0	Elástico
Leve	0,4	Pesado
Resistente	0,0	Delicado
Rígido	1,8	Dúctil
Macio	-1,2	Áspero
Forte	0,4	Frágil
Frio	0,7	Quente

Anexo 3 – Resultados dos ensaios físico-mecânicos

N°
/RMIN/

Amostra N° 1237 Ro Tipo material: aglomerado de Pedra - 5% resina
N° Ordem Lab.: _____ Data início ensaio: 11/07/2018

Determinação da densidade aparente e da porosidade aberta – EN 14671-1: 2005

Método normativo (vácuo: -2,0kPa) ☐ Método à pressão atmosférica ☒

Dimensões dos provetes: Ø-45mm; h=50 mm

1 – SECAGEM A MASSA CONSTANTE E PESAGENS SECAS

	MASSA SECA	MASSAS SATURADAS	MASSAS SATURADAS	
Data / hora:	11/07/18 - 10h57	11/07/18 - APÓS 1 H/A	12/07/18	13/07/18
Temp. sala (°C):	21,3°C	1h - 22,5°C	6h - 21,2°C	24h - 21,2°C
Provetes N°	m ₁ (g)	m ₂ (g)	Δm ₁₂ (%)	m ₃ (g)
I	122,218	133,335	132,908	134,451
II	121,751	135,524	136,427	138,552
III	114,563	124,226	124,927	126,689
IV	117,673	127,528	129,451	131,067
V	118,650	129,138	128,862	131,085
VI	114,800	125,825	125,698	127,728
				Δm ₂₃ (%)
				135,790
				139,522
				127,123
				132,005
				133,921
				129,045

Temperatura da água destilada (°C) _____ Data / hora — Início _____ Data / hora — Fim _____
Vácuo (2h ± 24min): _____
Imersão (24 ± 2) h: _____

2 – PESAGENS, CÁLCULOS E APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

$\rho_{H_2O} = 998,2$	Data / hora:	20/07/2018	Densidade aparente (kg/m³)	Porosidade aberta (%)	Absorção de água (%)
	Temp. sala (°C):	21,6°C			
	Provetes N°	Peso imerso (g)	Peso saturado (g)		
	I	68,387	139,700	1710,740	14,304
	II	68,882	140,509	1696,732	15,407
	III	63,243	130,046	1711,851	13,515
	IV	64,965	133,983	1701,892	13,860
	V	65,319	135,284	1692,795	14,019
	VI	63,169	128,652	1734,712	12,568
	Média	M _a	M _s *	1708,120	13,946
	Desvio padrão			8,667	0,852

— Parâmetro meramente indicativo, fora do âmbito da EN 1936.

Data do final do ensaio: _____ Verificado em: _____
Assinatura do operador: _____ Assinatura: _____

Nº
/RMIN/

Amostra Nº 1236 R6 Tipo material: aglomerado de pedra - 15% resina
 Nº Ordem Lab.: _____ Data início ensaio: 11/07/2018

Determinação da densidade aparente e da porosidade aberta - EN 14 617-1 : 2005

Método normativo (vácuo: -2,0kPa) ☐ Método à pressão atmosférica ☒

Dimensões dos provetes: φ - 45 mm; h - 50 mm


1 - SECAGEM A MASSA CONSTANTE E PESAGENS SECAS

Data / hora:	MASSA SECA			MASSAS SATURADAS		
	m ₁ (g)	m ₂ (g)	Δm ₁₂ (%)	m ₃ (g)	Δm ₂₃ (%)	
Temp. sala (°C):	21,5 °C	1h - 22,5	8h - 21,28	24h - 21,28	48h - 21,28	120h
Provetes Nº						
I	129,906	129,973	129,985	129,998	130,060	130,066
II	135,546	135,626	135,626	135,631	135,723*	135,648
III	135,050	135,108	135,128	135,138	135,145	135,147
IV	136,350	136,417	136,426	136,444	136,458	136,470
V	140,498	140,544	140,561	140,556	140,647*	140,625
VI	137,310	137,365	137,399	137,379	137,428	137,421

Temperatura da água destilada (°C)	Data / hora — Início	Data / hora — Fim
	Vácuo (2h ± 24min):	
	Imersão (24 ± 2) h:	

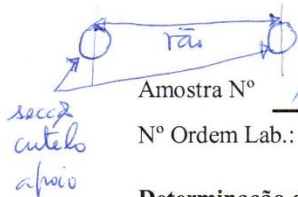
2 - PESAGENS, CÁLCULOS E APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Data / hora:			Densidade aparente (kg/m³)	Porosidade aberta (%)	Absorção de água (%)
	Temp. sala (°C):				
Provetes Nº	Peso imerso (g)	Peso saturado (g)			
I	66,201	130,080	2029,966		0,134
II	67,466	135,674	1982,244		0,131
III	66,685	135,176	1968,243		0,093
IV	68,630	136,477	2006,051		0,093
V	69,215	140,629	1963,337		0,106
VI	69,067	137,455	2004,194		0,106
Média	Ha	Ht*	1992,339		0,111
Desvio padrão					

 - Parâmetro meramente indicativo, fora do âmbito da EN 1936.

Data do final do ensaio: ____ / ____ / ____ Verificado em: ____ / ____ / ____
 Assinatura do operador: _____ Assinatura: _____

N°	
/RMIN/	



Tipo material: Aglomerado Pedra - 5% Resina

Data início ensaio: 20/07/2018

Secos ☒ Após res. gelo: ____ ciclos ☐ Data início: _____ Data fim: _____

Acabamento da superfície em contacto com os cutelos de apoio:

Orientação do cutelo de carga relativamente a:

Perpendicular	
---------------	--

face vista em obra ☐

Paralela	
----------	--

planos de anisotropia existentes

Não observável	
----------------	--

Vão: 178,96 mm

Temperatura ambiente: 22.5 °C

Velocidade de subida dos cutelos de apoio: I - -; II - 1,2 mm/min III - 2,0 mm/min

IV - 2,6 mm/min

$$1 \text{ MPa} = 10,197 \text{ kg/cm}^2$$

Provete Nº	Dimensões do provete		Força de rotura (N)	Tempo de rotura (seg)	Resistência à flexão		Roturas fora do centro (mm)
	b (mm)	h (mm)			R _f (MPa)	R _f (kg/cm ²)	
I	49,31	8,84	48	—	3,3		
II	49,70	10,24	76	41	3,9		
III	49,50	10,06	73	22	3,9		
IV	49,46	10,03	63	14	3,4		
V	49,80	9,42	62	20	3,8		
VI	49,95	9,84	80	19	4,4		

Média (\bar{x})

Desvio padrão (s)

Coeficiente de variação (s/\bar{x})

Valor máximo

Valor mínimo

Valor mínimo esperado

Observações:

3,8
0,4

$$= \frac{\sqrt{\sum (R_f - \bar{x})^2}}{6}$$

0,01 0

Data do final do ensaio: / /

Verificado em: / /

Assinatura do operador: _____

Assinatura: _____

15% độ vữa ~ 26,84 mm

_____/RMIN/ N°

Nº Ordem Lab.: Data início ensaio: 20/07/2018

Secos ☒ Após res. gelo: ____ ciclos ☐ Data início: _____ Data fim: _____

Perpendicular	
---------------	--

Paralela	
----------	--

Não observável	
----------------	--

Temperatura ambiente: 22,5 °C

$$1 \text{ MPa} = 10,197 \text{ kg/cm}^2$$

Proveite Nº	Dimensões do proveite		Força de rotura (N)	Tempo de rotura (seg)	Resistência à flexão		Roturas fora do centro (mm)
	b (mm)	h (mm)			R _f (MPa)	R _f (kg/cm²)	
I	49,87	9,97	288	67	15,6	X 10,1978	
II	49,82	9,64	289	70	16,8		
III	49,83	8,69	194	82	13,8		
IV	49,57	9,58	259	70	15,3		
V	49,68	8,97	230	83	15,4		
VI	49,85	9,28	246	70	15,4		
Média (\bar{x})					15,4		
Desvio padrão (s)					0,9		
Coefficiente de variação (s/ \bar{x})							
Valor máximo							
Valor mínimo							
Valor mínimo esperado							

Observações:

Verificado em: / /

Assinatura: _____

N°
 /RMIN/

Amostra N° 1327 Pb Tipo material: aglomerado pedra - 5% resina
 N° Ordem Lab.: _____ Data início ensaio: _____

Determinação da resistência à compressão (provete cúbicos)

Secos ☐ Após res. gelo: _____ ciclos ☐ Data início: _____ Data fim: _____

Acabamento das superfícies de carga dos provetes: _____

Orientação do eixo de carga relativamente a:

face vista em obra ☐
 planos de anisotropia existentes ☐

Perpendicular ☐
 Paralela ☐
 Não observável ☐

Temperatura ambiente: 22,5 °C

1 MPa = 10,197 kg/cm²

Provete Nº	Dimensões do provete (mm)						Força de rotura (kN)	Resistência à compressão	
	Base					Altura		(MPa)	(kg/cm²)
	d ₁	d ₂	\bar{d}	d ₃	d ₄				
I	44,61	43,86		43,81	44,64		48,19	15,2	9,9
II	43,93	44,55	43,97	43,97	44,45		52,00	12,7	8,3
III	44,23	43,89		44,19	44,06		50,92	16,5	10,8
IV	44,04	44,54		43,98	44,36		47,31	14,0	9,1
V	44,20	44,29		44,40	44,16		49,90	13,7	8,9
VI	44,06	44,44		44,20	44,36		47,56	15,1	9,8
Média (\bar{x})								9,5	
Desvio padrão (s)								0,8	
Coeficiente de variação (s/ \bar{x})									
Valor máximo									
Valor mínimo									
Valor mínimo esperado									

Observações: d média = Área =

Data do final do ensaio: ____ / ____ / ____ Verificado em: ____ / ____ / ____

Assinatura do operador: _____ Assinatura: _____

N°	
/RMIN/	

Tipo material: Aglomerado pedra - 15% Resina

Data início ensaio:

Temperatura ambiente: 72.5 °C

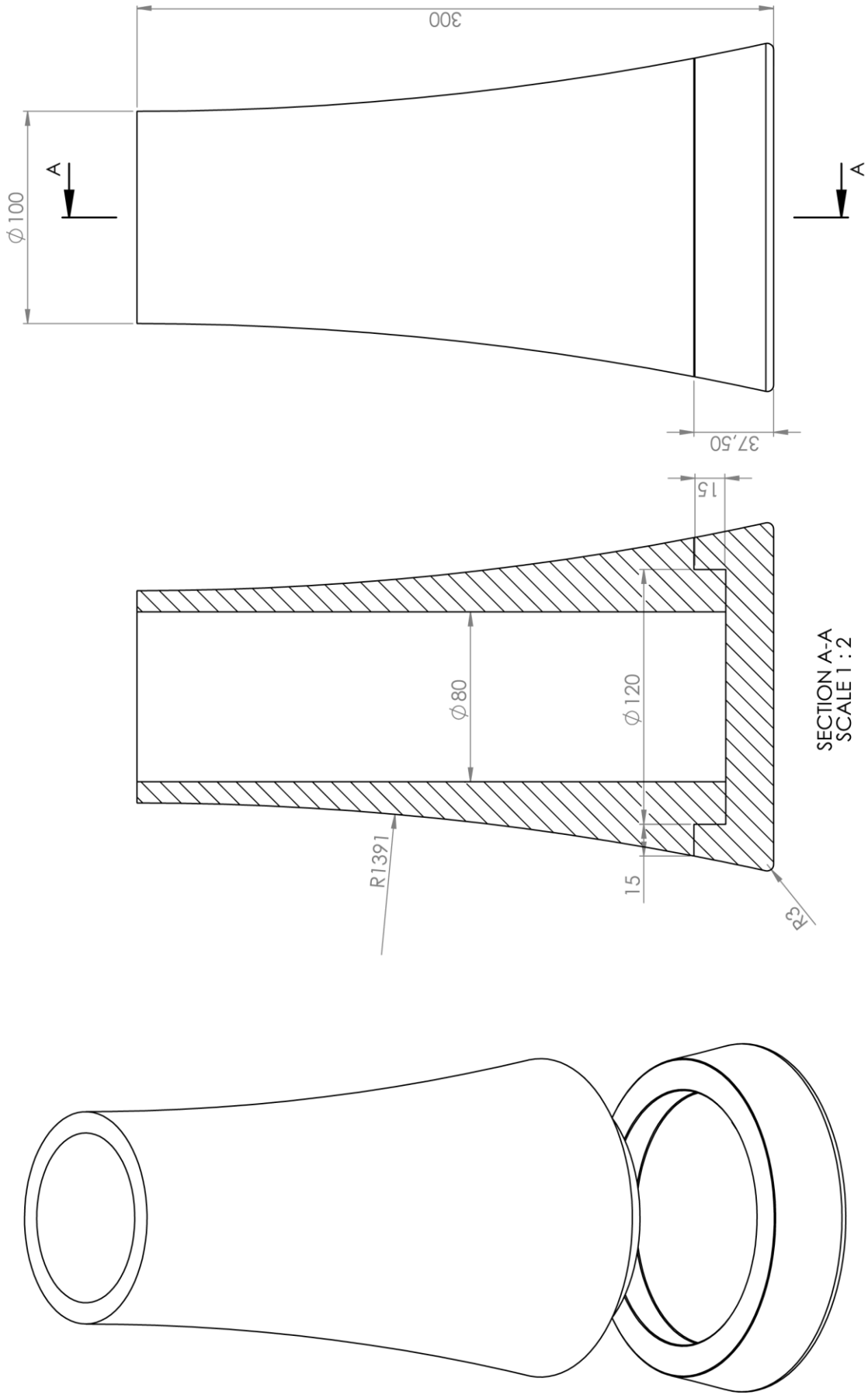
[illegible]

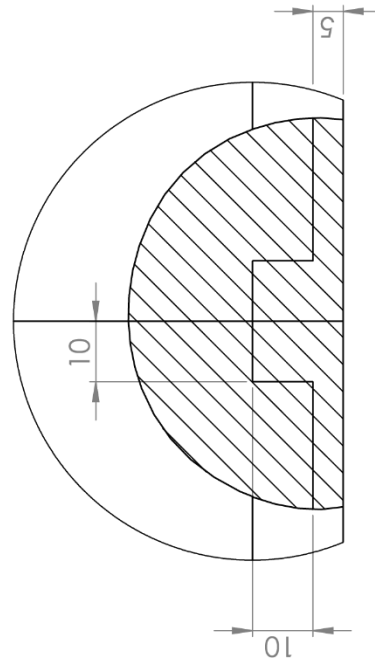
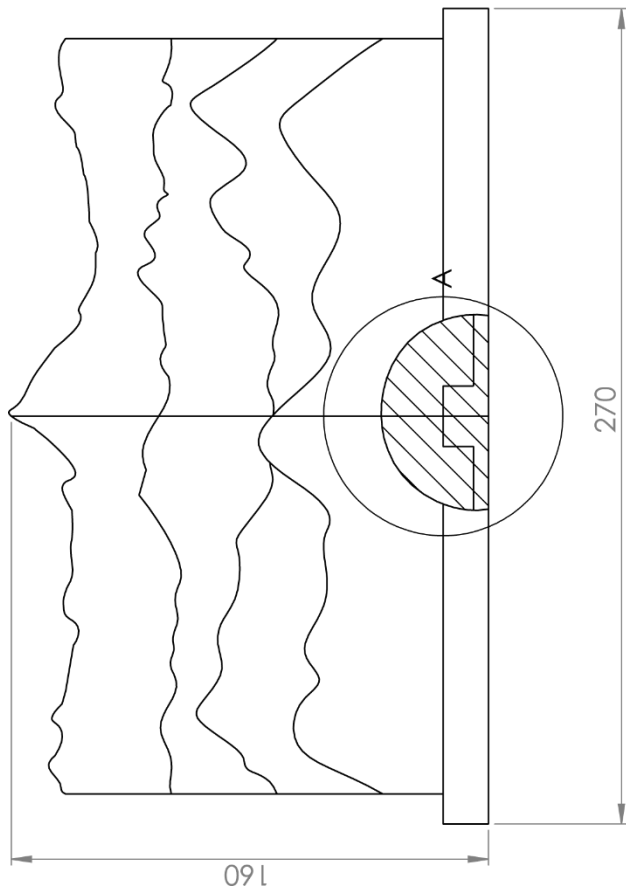
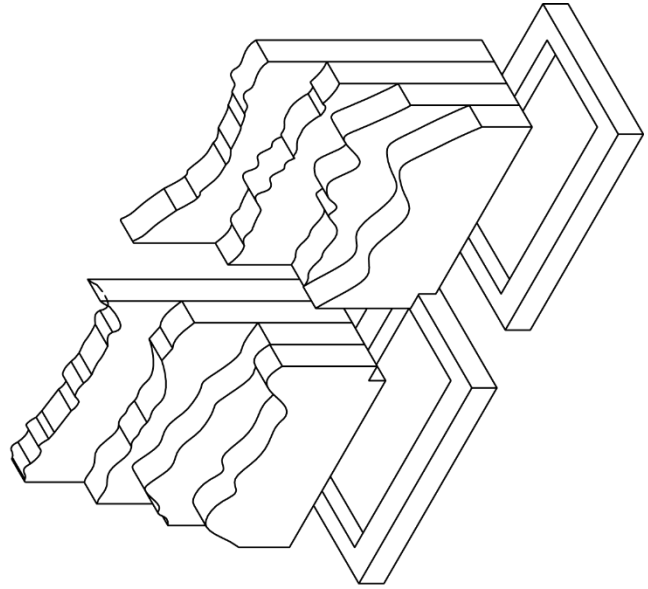
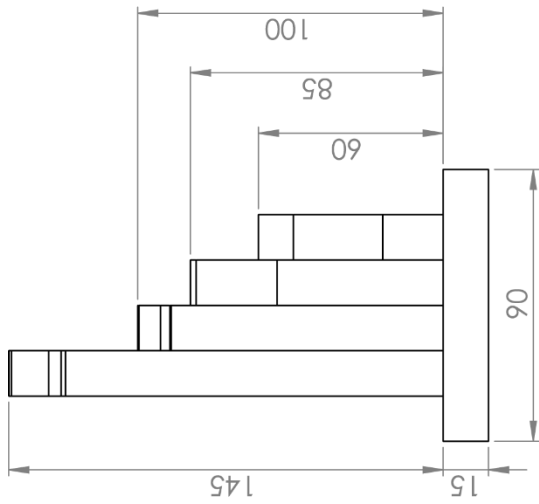
$d_{\text{médio}} =$

Area =

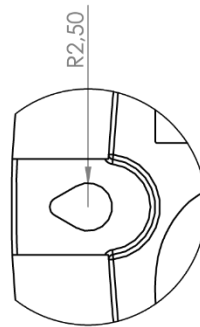
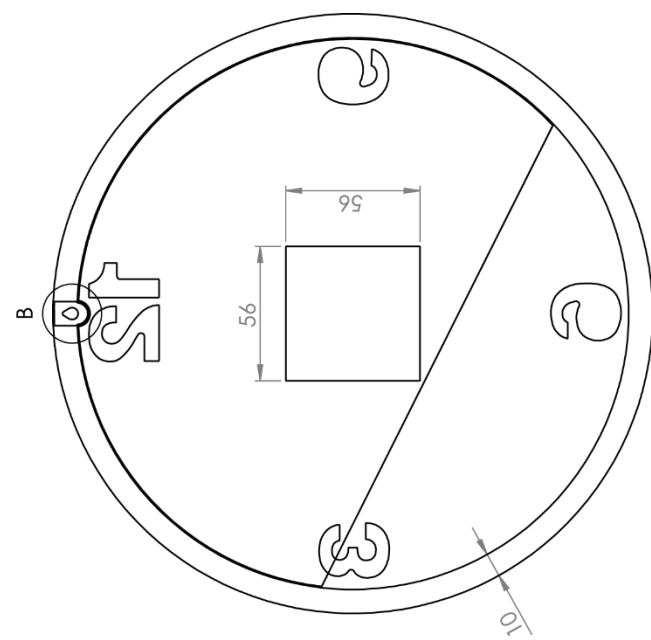
Assinatura: _____

Anexo 4 – Desenhos e principais medidas

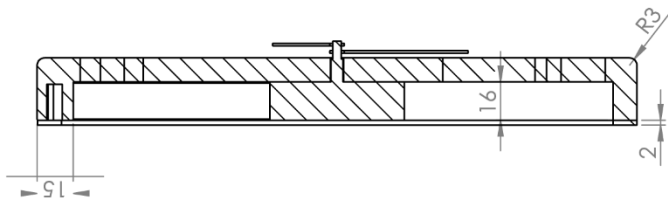




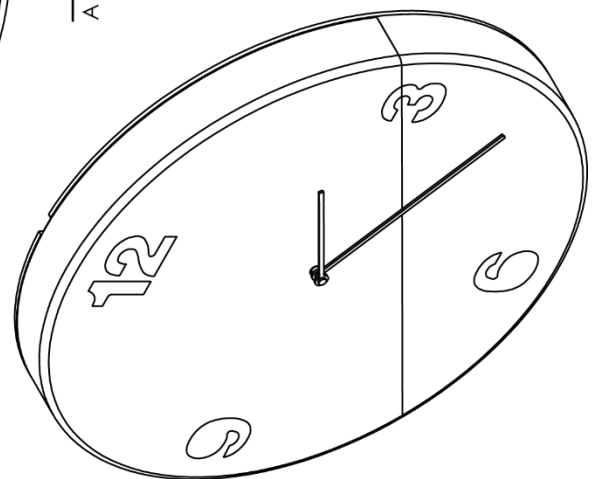
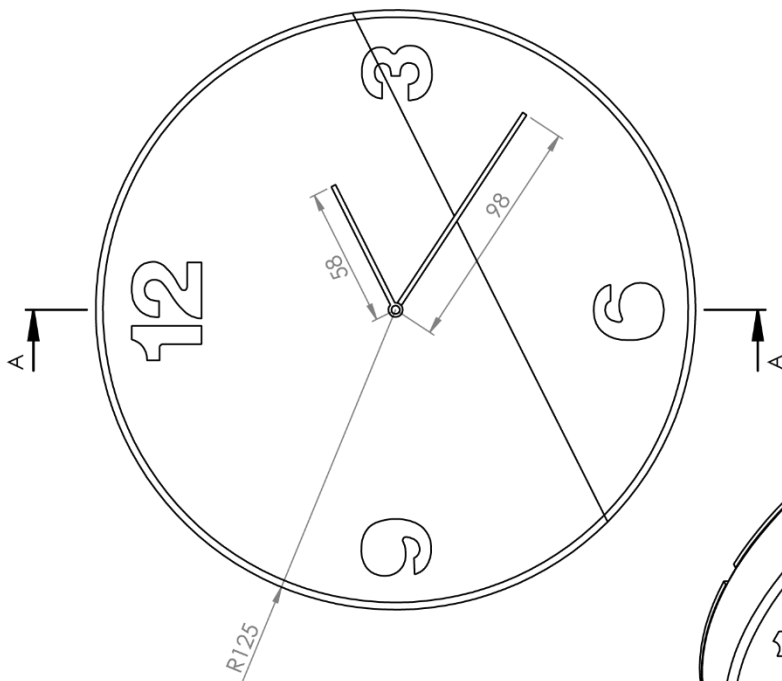
DETAIL A
SCALE 1 : 1

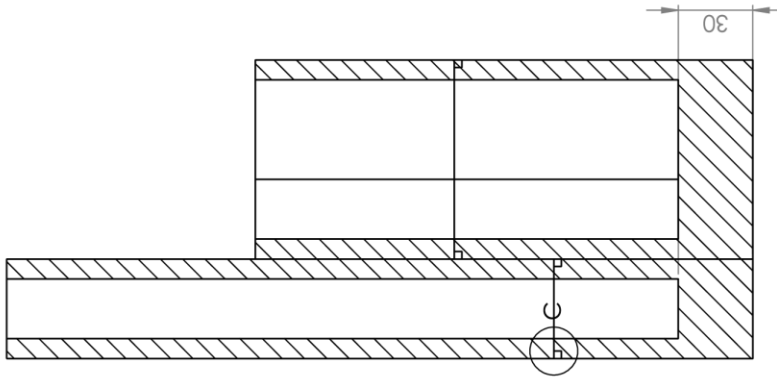
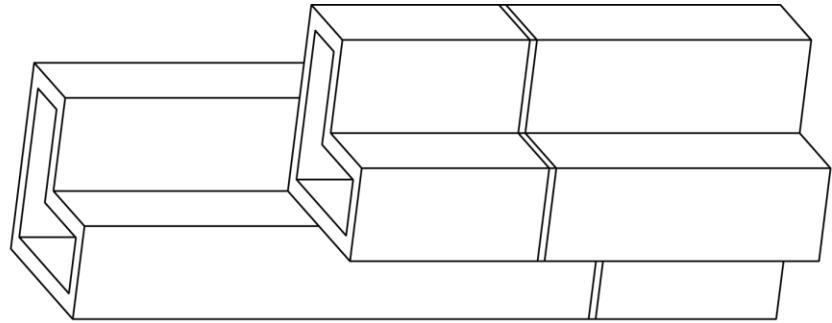


DETAIL B
SCALE 2 : 1

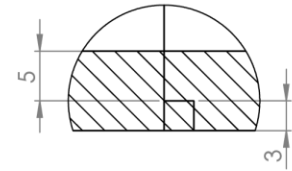


SECTION A-A
SCALE 1 : 2

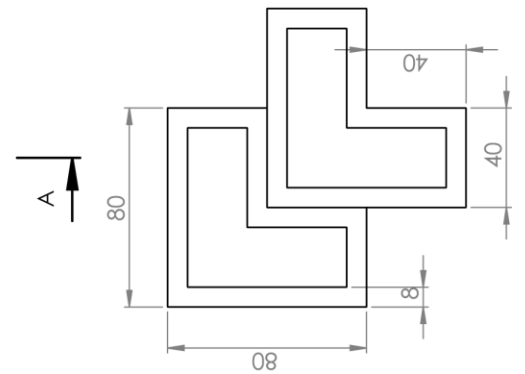
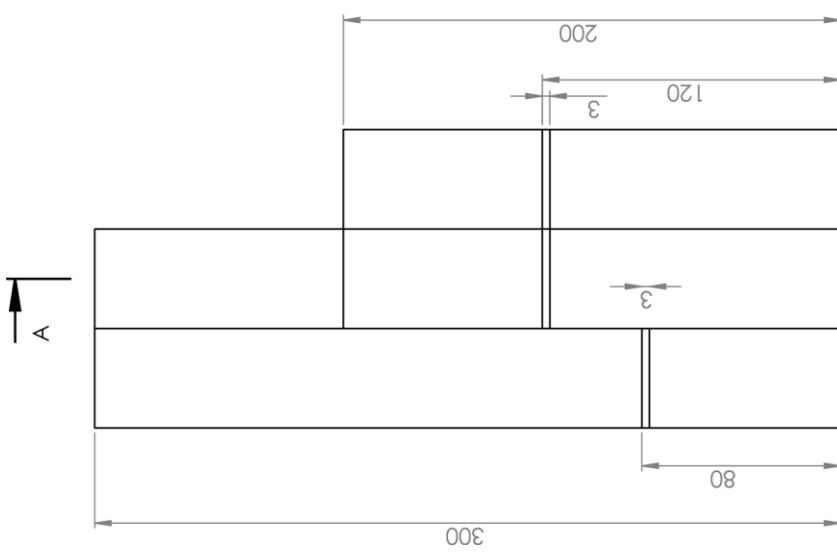




SECTION A-A
SCALE 1 : 2

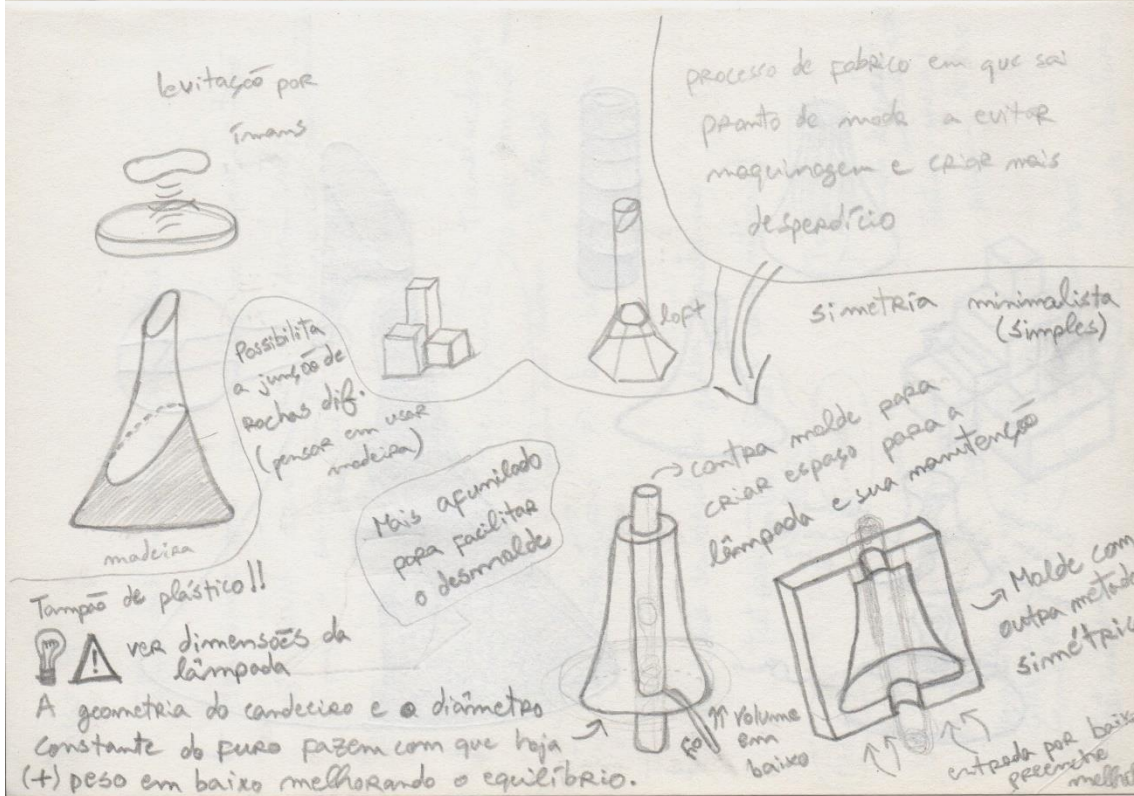
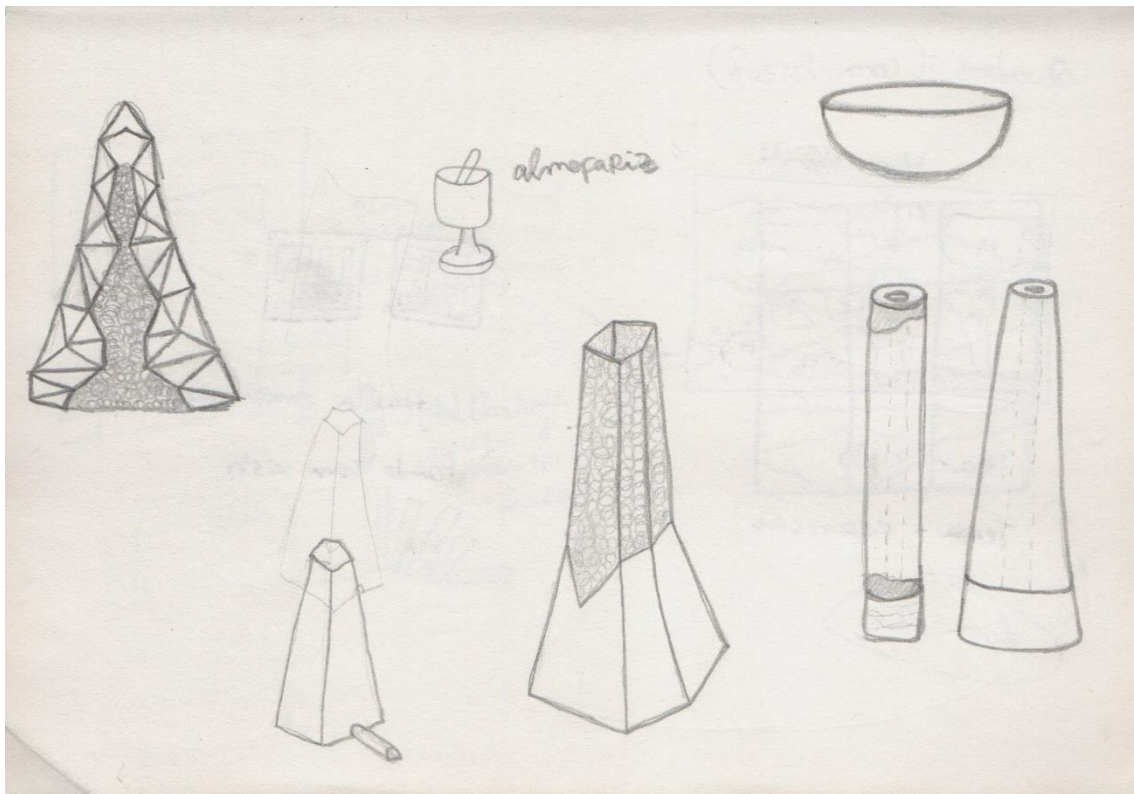


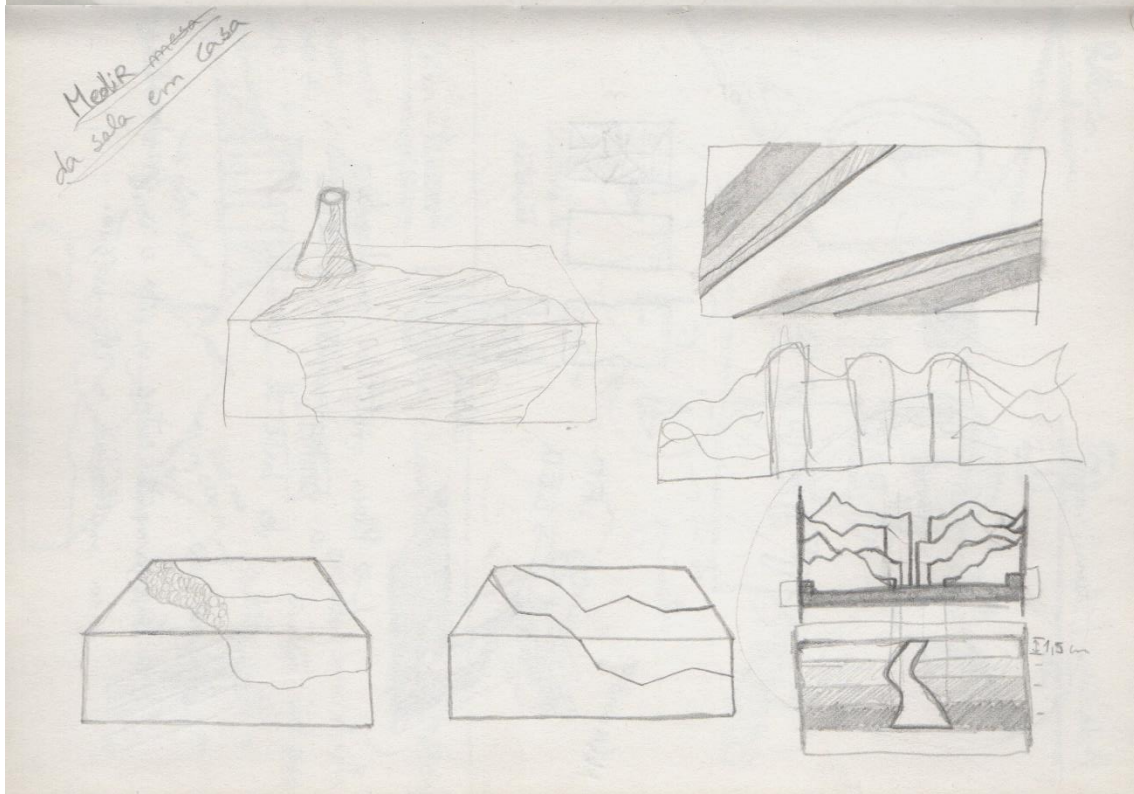
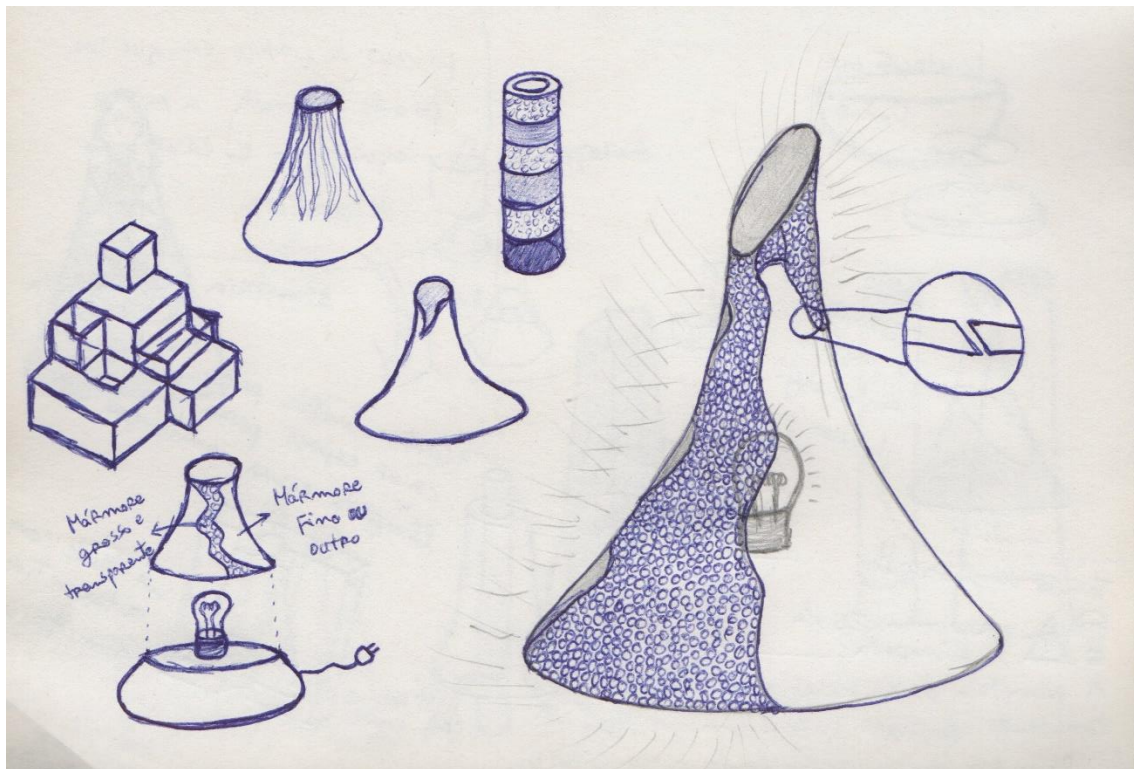
DETAIL C
SCALE 2 : 1



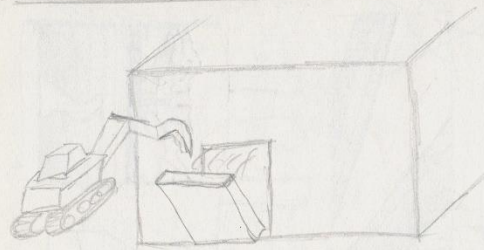
Anexo 5 - Esboços



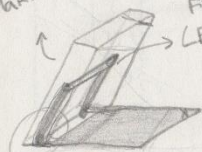




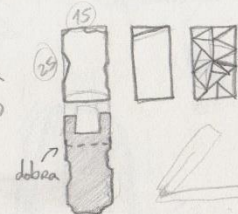
Pedreira / iluminação:



Mármore



Fita LED

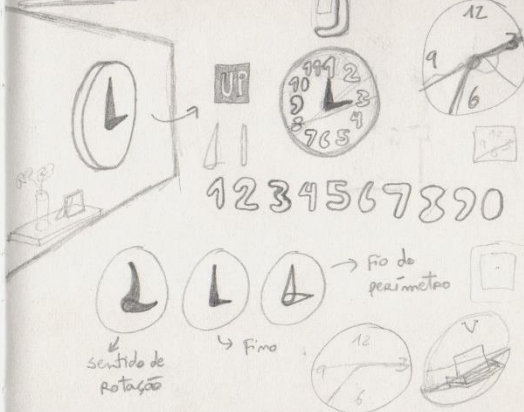


Placa metálica anodizada a imitar sombra e serve de base de sustento.

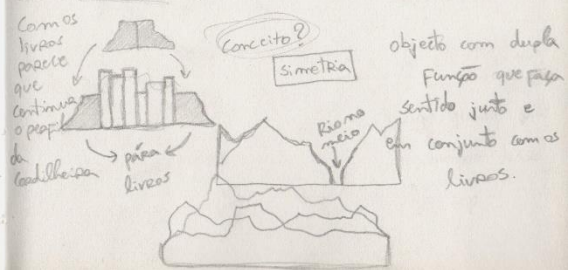


Espacamento entre a fita e a parede interna para melhorar a iluminação.

Relógio:



Para-livros: (pedra fina - superfícies lisas - maior detalhe)



Candelários — Vaso

Quadro de luz

Mesa de café

Mapa mundi
Outros potes
Jogo tabuleiro
Potes
Luz (mesa de resina)

